



# **En analys av befintliga och alternativa gallringsmallar för tall i norra Sverige**

*An analysis of existing and alternative thinning schedules for P.  
Sylvestris in northern Sweden*

**Pär Wilhelmsson**

**Arbetsrapport 460 2016  
Examensarbete 30hp A2E  
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:  
Hampus Holmström**



# En analys av befintliga och alternativa gallringsmallar för tall i norra Sverige

*An analysis of existing and alternative thinning schedules for P. Sylvestris in northern Sweden*

**Pär Wilhelmsson**

**Nyckelord:** *gallring, nuvärde, beslutsstöd, Heureka, binär logistisk regression*

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp  
EX0768, A2E

Handledare: Hampus Holmström SLU, institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Examinator: Tomas Lämås, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning, planering

## **Förord**

Först och främst vill jag tacka handledarna Hampus Holmström på Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå och Bert-Åke Näslund på Skogsstyrelsen i Jönköping för rådgivningen under studiens gång.

Anders Muszta på Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå ska också ha ett omnämnande för sin konsultativa behjälplighet i logistisk regression.

Ett varmt tack till mamma Britt-Marie och pappa Erik för det stöd jag fått under samtliga studieår på såväl universitet som gymnasium och grundskola.

Slutligen ett tack till jägmästarkurs 11/16 för gemenskapen och särskilt till Kalle Forsman och Adam Lundström.

## Sammanfattning

Olika beslutsstöd för gallring, så kallade gallringsmallar, har sammanställts av Skogsstyrelsen (1984) och Skogforsk (INGVAR). Denna studie består av tre delar. I den första delstudien jämförs fyra olika alternativ till stöd för beslut om gallring med Heureka. Två av alternativen var konsekvensanalyser för gallring enligt Skogsstyrelsens (SKS) respektive INGVARs (ING) gallringsmallar. Alternativ NYA anpassades för att tillmötesgå Skogsstyrelsens riktlinjer för gallring 2016. Alternativ REF konstruerades för att uppnå högsta möjliga nuvärde och för att utgöra referensalternativ. De fyra alternativen jämfördes i första hand efter nuvärde vid 1,5 % respektive 2,5 % kalkylränta men också efter skogsskötsel. REF gav högst nuvärde, i tur och ordning följt av NYA, ING och till sist SKS. Detta gällde för båda kalkylräntorna, om än skillnaderna var något större vid 1,5 % kalkylränta än vid 2,5 % dito. Resultatet indikerar att Skogsstyrelsens och INGVARs gallringsmallar föreslår gallring tidigare än vad som är nuvärdesmässigt motiverat, att nya gallringsmallar kan ge bättre ekonomiskt resultat och lägre risk för skador. I den andra delstudien sammanställdes nya gallringsmallar för tall i norra Sverige efter ett utförande som liknar Skogsstyrelsens gallringsmallar från 1984, baserat på resultatet för NYA. Trender i resultatet från delstudie 1 kunde visuellt skönjas i gallringsmallarna från delstudie 2, som att gallring föreslås för tidigt i Skogsstyrelsens och INGVARs gallringsmallar. I den tredje delstudien utförades stöd för gallringsbeslut med hjälp av binär logistisk regression. Modellerna skattar sannolikheten för att Heureka, med inställningar från NYA rådande, hade gallrat ett skogsbestånd. Modellerna föreslog gallring i enlighet med Heurekas utförda gallringar i 79-87 % av bestånden.

*Nyckelord: gallring, nuvärde, beslutsstöd, Heureka, binär logistisk regression*

## Summary

Support tools for thinning, so called thinning schedules, have been compiled by the Swedish Forest Agency and Skogforsk (INGVAR). This study comprises three parts. The first part is a comparison in Heureka of four decision support systems for thinning. Two of the systems, also called alternatives, were impact assessments for thinning according to the Swedish Forestry Board (SKS) and INGVAR (ING). Alternative NYA was designed to accommodate Swedish Forestry Board's recommendations for thinning today. Alternative REF was designed to reach the highest net present value possible and to constitute as reference. The four alternatives were compared primarily by net present value and secondarily by silviculture. REF gave the highest net present value, NYA gave the second highest, then came ING and SKS had the lowest NPV. This was the case for both 1,5 % and 2,5 % interest rate. The study suggests that official thinning schedules leads to inferior thinnings, both economically and with regard to wind damage risk. In the second part of the study new thinning schedules were derived, similar to Swedish Forestry Board's ones from 1984. The third part of the study contained a binary logistic regression that resulted in thinning models. The models estimate the probability that Heureka would have thinned a stand with the properties for NYA as current. The models suggested thinning with 79-87 % unity to the thinnings conducted by Heureka.

*Key words: thinning, net present value, decision support system, Heureka, binary logistic regression*

## Innehållsförteckning

Titelsida .....	1
Förord .....	2
Sammanfattning.....	3
Summary.....	4
Inledning.....	7
Gallringens syften och risker .....	7
Skogsstyrelsen och gallring .....	7
Gallringsmallars kontext 1984-2015 .....	9
INGVAR.....	10
Heureka.....	10
Lägsta slutavverkningsålder .....	11
Andra relevanta studier.....	11
Mål.....	11
Material och metoder.....	13
Mjukvara och indata .....	13
Beslutsstödsystemet Heureka .....	13
Delstudie 1: En jämförelse mellan fyra olika stöd för gallringsbeslut .....	14
Domänindelning .....	15
TPG-inställningar .....	15
Delstudie 2: Nya gallringsmallar för tall i norra Sverige .....	17
Delstudie 3: Gallringsmodeller genom binär logistisk regression .....	18
Binär logistisk regression .....	18
Inklusionskrav .....	19
Datamaterial för regressionen.....	20
Modellutvärdering .....	20
Tröskelvärde, precision och träffade gallringar.....	21
Resultat .....	23
Delstudie 1: Fyra alternativ på stöd för gallringsbeslut.....	23
Jämförelse mellan alternativ med kalkylränta 1,5 %.....	24
Jämförelse mellan alternativ med kalkylränta 2,5 %.....	27
Jämförelse mellan systemalternativ .....	29
Delstudie 2: Nya gallringsmallar för tall i norra Sverige .....	30
Delstudie 3: Gallringsmodeller.....	32
Koefficienter och p-värden.....	32
Modellutvärdering .....	34

Diskussion .....	36
Planeringsproblemet och handlingsfrihet .....	36
Delstudie 1: Vad orsakar nuvärdesskillnaderna?.....	36
Alternativ med samma räntekrav .....	36
Systemalternativ .....	37
Svagheter i delstudie 1 .....	38
Heureka.....	38
Datamaterialet.....	39
Delstudie 2: Generella riktlinjer i de nya mallarna.....	39
Svagheter i delstudie 2.....	40
Delstudie 3: Gallringsmodellerna och dilemmat tröskelvärde .....	40
Svagheter i delstudie 3.....	41
Gallringsmallars komplexitet och begriplighet .....	42
Vidare studier .....	43
Slutsatser.....	43
Litteraturförteckning.....	44
Publicerat material .....	44
Icke publicerat material .....	46
Bildkällor .....	46
Bilagor .....	47
Bilaga 1. Domänindelning och TPG-inställningar .....	47
Bilaga 2. Gallringsmallar från delstudie 2.....	50
Gallringsmallar för räntekrav 1,5 % .....	50
Gallringsmallar för räntekrav 2,5 % .....	53
Bilaga 3. Funktioner för gallringsmodellerna .....	58



## Inledning

### *Gallringens syften och risker*

Gallring är en skötselåtgärd som i *beståndsvårdande syfte utglesar skogen under tillvaratagande av virke* (Sveriges Skogsvårdsförbund & Tekniska nomenklaturcentralen 1994). Skogen behöver i viss mening inte gallring. Skog fanns innan människan började bruka den. Istället är det människan som har ett eventuellt behov av att gallra skog, om hon vill bruka dess resurser. Motivet bakom och fördelarna med gallring kan vara flera. Ett av Skogsstyrelsens syften med gallring är att skapa stormfasta bestånd med god gagnvirkesproduktion (Bergquist et al. 2016). Det kan ge ekonomisk avkastning innan slutavverkning, det kan öka gagnvirkesproduktionen och det ger tillfälle att skapa önskvärda strukturer (Bergquist et al. 2016). En gallrad skog kan uppfattas som vackrare och gallringen ger möjlighet att välja vilka stammar som är lämpliga att utveckla till slutavverkning. Man kan också gallra för att skapa strukturer som gynnar vissa biologiska organismer. Negativa aspekter finns också. Maskinarbetet skadar 3-7 % av trädstammarna vid gallring (Bergquist et al. 2016). Skaderisken för vindfällning ökar efter gallring (Persson 1975) och särskilt vid hög gallringsstyrka (Persson 1972). Extra hög blir risken för vindskador om beståndet gallras både hårt och sent (Quine 1995). Risken för andra skador, som svamp- och insektsangrepp ökar också på kort sikt efter åtgärden (Agestam 2009). Gallring är vanligt förekommande i det svenska trakthyggeskogsbruket. Det är den areellt dominerande skogliga åtgärden och 2012/2013 gallrades totalt 394 000 hektar i Sverige (Skogsstyrelsen 2014). Det förklaras sannolikt med att gallring kan utföras flera gånger under samma omloppstid.

### *Skogsstyrelsen och gallring*

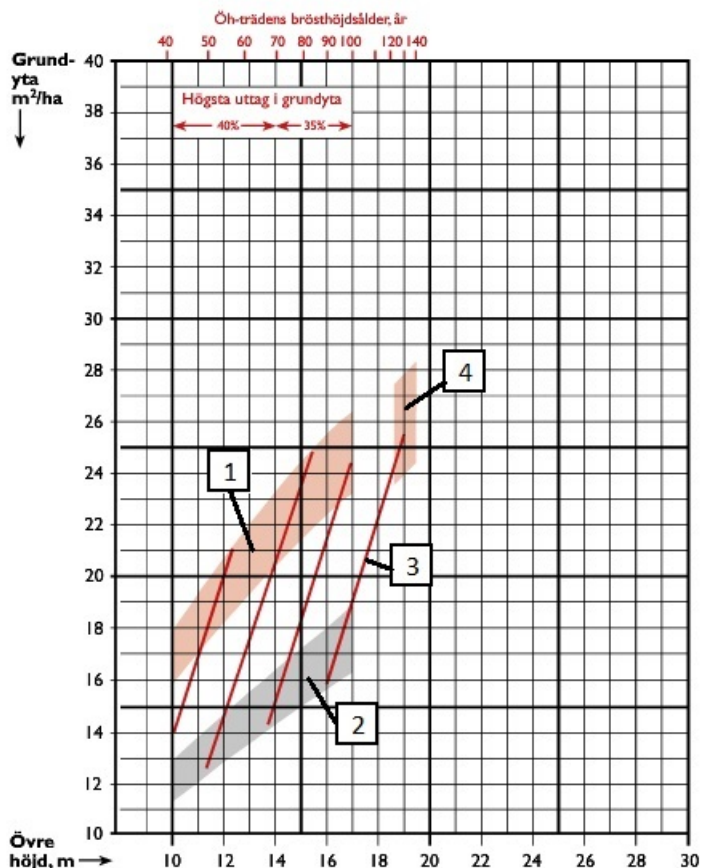
Skogsstyrelsens gallringsmallar är ett beslutsstöd för skogsskötsel. Syftet med mallarna är att ge vägledning om hur och när ett skogsbestånd bör gallras. Resultatet som mallarna ska därtill granskas kritiskt (Skogsstyrelsen 1985). Gallringsmallarna ska kunna användas av många (Näslund, personlig kontakt). Ingångsvärden i mallarna är skogliga variabler (övre höjd, grundyta och ståndortsindex) och geografiskt läge. Andra faktorer kan dock påverka beslutet (Skogsstyrelsen 1985). Gallringsmall för ståndortsindex T16 och dess viktigare element kan ses i Figur 1. Baserat på ingångsvariablerna ovan ger gallringsmallarna skattningar för beståndets utveckling och gallringsbehov. Man kan även utläsa ungefär när beståndet bör slutavverkas och en volymtabell skattar virkesförrådet vid olika tillfällen. Mallarna har kommit att användas mycket (Näslund, personlig kontakt). Skogsstyrelsen publicerade sina gallringsmallar 1984 (Skogsstyrelsen 1985).

## Tall T16

Norra Sverige  
Bonitet 2.5 m<sup>3</sup>sk/ha och år  
Beräknad produktionsnivå  
1.9 m<sup>3</sup>sk/ha och år

Vid slutavverkning  
– totalålder 140 år  
– virkesförråd ca 190 m<sup>3</sup>sk/ha  
– diameter (dg) ca 21 cm

T14  
T16



**Figur 1.** Skogsstyrelsens gallringsmall för ståndortsindex T16 (redigerad). Bland de viktigare elementen i gallringsmallen har följande markerats: 1) gallringsrekommenderande fält 2) fält för att rekommendera grundyta efter gallring 3) utvecklingslinje 4) slutavverkningsrekommenderande fält.

Mallarna från 1984 är en revidering av de första gallringsmallarna "B 69" från 1969 (Holmberg 2005). Mallarna från 1969 baserades på höjdmodeller av Jöran Fries och nyare forskning fanns tillgänglig på 1980-talet, delvis förvärvat via Hugin-projektet (Skogsstyrelsen 1985, Näslund, personlig kontakt). Dessutom hade det sammanhang som mallarna verkade i förändrats. En ny skogsvårdslag kom 1979 (SFS 1979:429). Man såg även att arealerna med förstagallringsbehov ökade och Skogsstyrelsen tryckte på vikten av att gallra i rätt tidpunkt. Sammantaget hade skogen och skogsbruket förändrats och efter 15 års användande av B 69-mallarna ansåg det motiverat att utveckla nya gallringsmallar. Därför omarbetades de och de nya versionerna kom 1984 (Skogsstyrelsen 1985). Den utgåvan är den senaste som publicerats.

Mallarna har använts mycket och har samtidigt fått utstå en del kritik. Den består främst i att gallring föreslås vid för höga höjder samt att för många gallringar föreslås (Näslund, personlig kontakt).

Funktionerna som ligger till grund för Skogsstyrelsens gallringsmallar är inte tillgängliga. De utvecklades av Harry Eriksson, Björn Elfving och Per-Magnus Ekö (Skogsstyrelsen 1985). Dokumentet där underlaget till gallringsmallarna är redogjort för finns inte kvar (Näslund, personlig kontakt). Det är problematiskt för eftervärlden i allmänhet och denna studie i synnerhet därför att det försvårar jämförelser och efterforskning.

Skogsstyrelsen har publicerat *Kunskapsplattform Skogsbruk* där myndighetens syn på gallring klargörs (Bergquist et al. 2016). Man anser att:

- Förstagallring skall ses som en skogsvårdande åtgärd för att skapa stormfasta bestånd med god gagnvirkesproduktion
- Gallring utförs ofta för sent och vid för höga beståndshöjder
- Skog som sköts undermåligt i ungskogsfasen ger dyra gallringar som har svårt att åtgärda problemen, vilket leder till inoptimal skötsel
- Skadorna orsakade av rotröta är ett nationellt problem och måste hanteras

### ***Gallringsmallars kontext 1984-2015***

Sedan 1984 har mycket hänt i det sammanhang gallringsmallarna befinner sig i och läget nu påminner en del om 1980-talets början. Gallringsmallarna från 1984 bygger på höjdmodeller av Björn Hägglund (Skogsstyrelsen 1985). Forskningen har sedan dess fortgått och andra modeller finns att tillgå. Författningen som reglerar skogsbruket har förändrats och tillsynsmyndighet för denna är Skogsstyrelsen (SFS 1979:429). Stora delar av *Skogsvårdslagen* skrevs om 1993 och samma år kom *Skogsvårdsförordningen* (SFS 1993:1096, SFS 1979:429). Den kompletterande *Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd* ger riktlinjer om hur författningen kan följas och utkom 2011 (Skogsstyrelsen 2011). Det innebär att samtliga tre delar av författningen har reviderats eller utkommit efter 1984. Överlag har författningen som reglerar skogsbruket gått från att vara detaljreglerande till att ge skogsägare mer frihet under ansvar. Exempelvis har man slopat markägarens skyldighet att röja och gallra skogen. Vidare jämfördes miljömålet med produktionsmålet vilket innebar en riktningsförändring för skogsbruket. Dessa ändringar trädde i kraft 1 januari 1994 (SFS 1979:429).

Tillväxten i de svenska skogarna ökar. Elfving och Tegnhammar (1996) fann i sin studie *Trends of tree growth in Swedish Forests 1953-1992* att träd i de svenska skogarna med ett givet trädslag, ålder, plats och beståndstäthet hade en högre höjd och snabbare tillväxt vid studieperiodens slut än vid dess början. Orsakerna bakom tillväxtförändringen är inte helt klarlagda och kan vara flera. Det är också möjligt att det är en samverkan mellan flera olika faktorer och vilka dessa faktorer kan vara diskuteras av författarna. En av de möjliga orsakerna är den produktionsmässigt bättre skogsskötseln. En aspekt av detta är det förädlade föryngringsmaterialet. Arbetet med förädlad material har i Sverige pågått sedan 1950-talet. Rosvall (2010) har funnit att första generationens föryngringsmaterial har en tillväxtökning på 10 % sett över en hel omloppstid jämfört med oförädlade plantor. Samma siffra för den tredje generationen, som utgörs av de bästa individerna från generation ett och två, är i teorin 25 %. En annan möjligen bidragande faktor till varför skogen växer snabbare idag är klimatet. Kväveförekomsten i marken har ökat över tid, som en följd av den ökade kvävedepositionen (Bernes et al. 1991). Eftersom kvävetillgången ofta är begränsande i svenska skogar (Rosen, 1992) för Elfving och Tegnhammar (1996) resonemanget att detta kan ha bidragit till tillväxtökningen.

Faktumet att tillväxten i de svenska skogarna har ökat leder till misstanken att äldre skogliga tillväxtmodeller kan felskatta tillväxten i dagens skogar.

## **INGVAR**

Ett alternativ till Skogsstyrelsens gallringsmallar är det datoriserade verktyget INGVAR. Det står för Interaktiv gallringsvariator, är utvecklat av Skogforsk i samarbete med SLU och lanserades 2008. Syftet med INGVAR är inte att presentera ett facit för hur gallring ska utföras utan att precis som med Skogsstyrelsens gallringsmallar ge stöd i beslut om gallring. Programvaran har därför fokus på konsekvensanalyser, med många fler variabler att variera om man så önskar, exv. gallringsform, -styrka, stickvägsavstånd. Användaren kan också välja vilken risknivå man är beredd att tolerera, vilket översätts till rekommendation om gallring vid olika beståndshöjder. Programmet beaktar dessa faktorer och utför beräkningar som visar framtida virkesutfall och beståndsstrukturer (Jacobsson et al. 2008).

INGVAR baserar sin beståndssimulator på framförallt två modeller. Det handlar om Söderberg (1986) för tillväxtprognoser för enskilda träd i kombination med Jonsson (1974, 1980) för gallringsreaktionsprognoser (Jacobsson, personlig kontakt). I förarbetet till INGVAR konstaterade man dock att modellerna i samverkan gav bristande prognostisering för förändringar i volyms- och grundytetillväxt efter gallring (Jacobsson, personlig kontakt).

## **Heureka**

Den senaste generationens skogliga beslutsstöd heter Heureka. Det är en mjukvara som började utvecklas 2002 vid SLU och lanserades i sin första publika version 2009. I Heureka finns möjligheter att välja vilka modeller man ska använda i simuleringarna. Ett för denna studie centralt val är vilken modell som ska användas för att prognostisera grundytetillväxt. Eftersom både Skogsstyrelsens gallringsmallar och INGVAR skattar gallringsbehov med hjälp av grundyta som en av två variabler blir valet av modell för prognostisering av dessa mycket viktiga.

Söderbergs trädvisa modell för grundytetillväxt (Söderberg 1986) och Ekös beståndsvisa dito (Ekö 1985) är baserade på data från Riksskogstaxeringens provytor 1973-1977. Med tanke på att tillväxten i skogarna är högre nu än då leder detta till misstanke om att modeller utvecklade i nutid borde förutsäga skogens tillväxt bättre. Just detta undersöktes av Fahlvik et al. (2014). Hypotesen som prövades var att de äldre modellerna av Söderberg (1986) och Ekö (1985) skulle underskatta tillväxten i bestånd och därtill ge sämre precision i sina prognoser än de mer moderna modellerna av Elfving (2010). Hypotesen sa också att beståndsvisa modeller (Ekö och Elfving ena modell) skulle skatta volymtillväxten bättre än trädvisa modeller (Söderbergs och Elfving andra modell). Fahlvik et al. (2014) fann att de nyare modellerna av Elfving gav en mer precis framskrivning av skogsbestånd, samtidigt som modellerna från 80-talet var relativt pålitliga. Vidare var det de beståndsvisa modellerna som prognostiserade tillväxten mest precist, helt i enlighet med hypotesen.

Något bör sägas om avgångsmodellerna i Heureka. Om ett skogsbestånd tillåts växa tillräckligt tätt börjar beståndet självgallras (vissa träd dör). Tidigare simulerade Heureka detta via ett samspel mellan tre modeller. Det handlade om Fridman & Ståhl (2001), Söderberg (1986) och Bengtsson (1978). Samspelet har dock kommit att betraktas som något föråldrad då avgångar i glesa bestånd hade trädslagsvisa fixa värden från Bengtssons

modell. Därför ersattes den i Heureka av en ny modell, konstruerad av Elfving (2010). Den modellen är trädnivåbaserad och bygger på data från Riksskogstaxeringen (Anon. 2014).

### ***Lägsta slutavverkningsålder***

Enligt Skogsvårdslagen får skog inte slutavverkas innan den uppnått en viss ståndortsindexberoende ålder, sk lägsta ålder för slutavverkning (SFS 1979:429). Åldersgränsen är något högre i Norrbottens, Västerbottens, Jämtlands och Västernorrlands län än i övriga landet vid samma ståndortsindex (Anon. 2016). Skogsstyrelsen övervägde 2015 att åldersgränsen i de nordliga länen skulle sänkas så att samma åldersgräns gäller i hela landet. En konsekvensanalys för ett alternativ där sänkningen ägde rum publicerades också (Fries et al. 2015). I mars 2016 står det dock klart att förslaget avvisades och någon lagändring inte kommer att genomföras.

### ***Andra relevanta studier***

Ekonomiskt optimala beslut i skogliga sammanhang har varit föremål för tidigare studier.

En ökande kalkylräntas sänkande av den ekonomiskt optimala omloppstiden fastslogs redan på 1800-talet (Faustmann 1995).

Gallringsbeslutet har ibland varit exkluderat ur problemformuleringen men studier som fokuserat på ekonomiskt optimal gallring har poängterat gallringens och omloppstidens ömsesidiga påverkan (Näslund 1969, Schreuder 1971), samt dess beroende till priser, kostnader, skatter med mera (Chang 1983).

Skogsbrukets avkastning och ekonomiska värde behandlas i *Skogsskötselns ekonomi*, en del av Skogsskötselserien. Via beräkningar på ett exempelbestånd i Gävleborgs län visade man att en högre kalkylränta förkortade omloppstiderna och sänkte antalet optimala gallringar under en omloppstid (Ekvall & Bostedt 2009).

I en studie av Hyytiäinen och Tahvonen (2002) undersöktes finska officiella stöd för gallringsbeslut för barrträd. Resultaten visade att rekommendationerna presterade ett sämre ekonomiskt resultat än det nuvärdesoptimerade handlingsalternativet som utformades i studien. Vidare fann man också att omloppstiderna i enstaka fall kan bli längre vid höjt räntekrav.

Studier som jämfört olika gallringsbeslutsstöd med avseende på nuvärde via konsekvensanalyser har utförts. I ett kandidatarbete vid SLU 2012 fann författarna att Skogsstyrelsens och Bergvik Skogs respektive gallringsmallar gav ett nuvärdesmässigt sämre utfall än ett nuvärdesoptimerat handlingsalternativ (Andersson & Åkerblom Andersson 2012).

Resultatet från tidigare studier pekar mot att befintliga gallringsmallar inte är ekonomiskt maximerande, varför sådana indikationer kan väntas i resultatet till föreliggande studie också. Vad ytterligare som talar för detta är att en annan målsättning än att maximera nuvärdet var rådande vid utformandet av 1984 års gallringsmallar.

### ***Mål***

Studien utfördes på uppdrag från Skogsstyrelsen. Deras instruktion var att studien ska jämföra olika stöd för gallringsbeslut, däribland Skogsstyrelsens samt INGVARs

gallringsmallar, samt att studien ska ge förslag på hur nya gallringsmallar kan utformas. Dessa förslag ska kunna användas internt i Skogsstyrelsen för att utgöra underlag för rådgivning.

För att begränsa studiens omfattning och göra den genomförbar utfördes jämförelsen bara på tall i norra Sverige, eftersom att Skogsstyrelsens gallringsmallar från 1984 är olika för södra och norra Sverige. Förhoppningen är att metoden kan upprepas på tall i södra Sverige samt på andra trädslag.

Målen med studien är att:

- 1) jämföra olika typer av stöd för gallringsbeslut för tall i norra Sverige med avseende på nuvärde och skogsskötsel
- 2) med stöd i Skogsstyrelsens skötselriktlinjer och via Heureka utforma nya gallringsmallar för tall i norra Sverige
- 3) utforma en alternativ typ av gallringsmall för tall i norra Sverige via logistisk regression

## Material och metoder

### *Mjukvara och indata*

Studien består av tre delar:

- Delstudie 1: En jämförelse mellan fyra olika beslutstöd för gallring
- Delstudie 2: Nya gallringsmallar för tall i norra Sverige
- Delstudie 3: Gallringsmodeller genom binär logistisk regression

Material och mjukvara:

- Heureka PlanVis, version 2.3.1.1
- INGVAR, version 1.5.1.0
- MiniTab, version 17.2
- Gallringsmall för tall i norra Sverige (Skogsstyrelsen, 1984)
- Provytedata från Riksskogstaxeringen, år 2008-2012 (grunddata)

Grunddatat i studien utgjordes av provytedata från Riksskogstaxeringens inventering av skog. Provytedatat ger en representativ bild av skogstillståndet i landet. Inventeringen är en stickprovsmätning med både permanenta och tillfälliga provytor. De permanenta ytorna inventeras om vart femte år och de tillfälliga ytorna mäts endast en gång. Provytorna är cirkulära med en radie om 7-10 meter och kvadratisk gruppställda (Anon. n.d.). Många variabler mäts vid inventeringen men för denna studie är de relevanta variablerna främst sådana som beskriver trädens tillstånd och markens produktionsförmåga.

Studien omfattar endast bestånd som klarar inklusionskraven för Skogsstyrelsens gallringsmallar för tall i norra Sverige (Skogsstyrelsen 1985). Kraven lyder:

- 70 % av beståndets grundyta utgörs av tall
- Beståndet är beläget i Norrland eller i Värmlands eller Dalarnas län.

De 5574 provytor som klarade de grundläggande inklusionskraven var indata i studien. Deras skogliga struktur beskrivs kortfattat i Tabell 1.

**Tabell 1.** Sammanfattande skoglig statistik för provytedatat från Riksskogstaxeringen ( $n=5574$ ). Förkortningar: GY=grundyta, ÖH=övre höjd, Hgv=grundtevägd medelhöjd, Dgv=grundtevägd medeldiameter, SI=ståndortsindex.

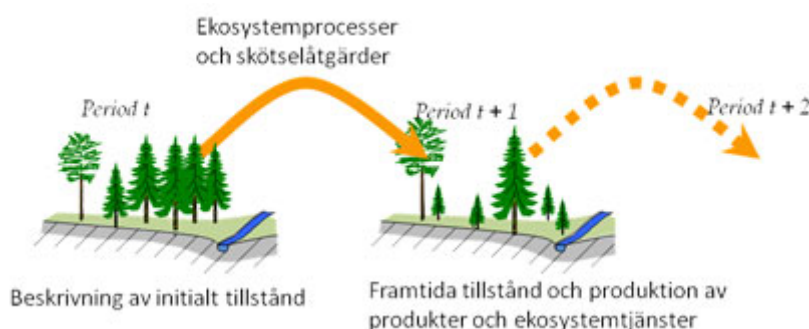
	<b>GY</b> <b>(m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>ÖH</b> <b>(m)</b>	<b>Hgv</b> <b>(m)</b>	<b>Dgv</b> <b>(cm)</b>	<b>Stamantal</b> <b>(st/ha)</b>	<b>Volym</b> <b>(m<sup>3</sup>sk/ha)</b>	<b>Ålder</b> <b>(år)</b>	<b>SI</b> <b>(H100)</b>
10e percentil	1,5	n/a	2,3	3,0	632	4,1	13,8	15
Medel	17,7	11,4	11,6	15,8	1935	130,8	57,3	19
90e percentil	31,1	21,0	19,6	26,4	4671	281,1	104,5	24

Ytterligare inklusionskrav har applicerats i somliga delstudier.

### *Beslutsstödsystemet Heureka*

Heureka består de av tre applikationerna BeståndsVis, PlanVis och RegVis. Den applikation som är relevant för denna studie är PlanVis, som används för simulering av skogsskötsel för medelstora och stora skogsinnehav. Med start i ett initialt skogstillstånd (period  $t$ ) prognostiseras skogen framåt fem år under påverkan av ekosystemprocesser och eventuella skogsskötselåtgärder som användaren kontrollerar via s.k. kontrolltabeller.

Funktioner för mekanismer som inväxning, tillväxt, avgångar används för att prognostisera skogstillståndet till kommande period  $t+1$  enligt Figur 2. Kostnader och intäkter beräknas med hjälp av kostnadsfunktioner, en prislista och en apteringsmodell, alla möjliga att justera. Denna process upprepas och PlanVis skapar 100-åriga skötselprogram för varje bestånd i analysområdet. För varje bestånd simuleras också ett antal sådana skötselprogram (med skillnader i tidpunkt för åtgärder som gallring, slutavverkning osv). Skötselprogrammen rangordnas sedan efter nuvärde.



**Figur 2.** Principskiss för Heurekas produktionsmodeller. Bildkälla: <http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/sha/heureka/regwise/> [2016-04-19].

När simuleringen av alternativa skötselprogram för det aktuella analysområdet är färdigt utförs nästa steg. PlanVis innehåller en optimeringsmodell baserad på linjärprogrammering som arbetar mot en målfunktion som användaren själv väljer. Med beaktande av olika restriktioner kan optimering av skogsskötseln ske för att nå målen med skogsbruket. PlanVis ger likt INGVAR stora möjligheter att ändra inställningar som tillväxtfunktioner etc. Det hela landar i ett kraftfullt och modernt prognosprogram, som emellertid kräver en kunnig användare.

### ***Delstudie 1: En jämförelse mellan fyra olika stöd för gallringsbeslut***

För att utvärdera olika stöd för gallringsbeslut jämförs nedanstående handlingsalternativ med Heurekas hjälp:

- Alternativ SKS: Skogsstyrelsens gallringsmallar
- Alternativ ING: INGVARs gallringsmallar
- Alternativ NYA: Nya gallringsmallar efter Skogsstyrelsens skötselrekommendationer
- Alternativ REF: Referensalternativ

Varje handlingsalternativ har två Heureka-analyser, en med 1,5 % kalkylränta och en med 2,5 % dito. Varje alternativ har på så vis ett systemalternativ, vilket är det alternativ som utvärderar samma beslutsstöd för gallring men med det andra räntekravet. Jämförelser sker både mellan alternativ med samma räntekrav och mellan systemalternativ. Analysperioden är 100 år för alla alternativ.

Varje alternativ består av en simulering av skötselprogram och en rangordning av dessa. Simuleringen skiljer sig mellan de olika alternativen via vilket beslutsstöd som styr gallring medan rangordningen av skötselprogram sker med högsta nuvärde som merit i samtliga alternativ.



Jämförelsen mellan alternativen sker i första hand med avseende på nuvärde. I andra hand beskrivs alternativens gallringar och slutavverkningar i skogliga termer som ålder, grundyta, volym etc.

### **Domänindelning**

Heureka tillåter en indelning av bestånd som kan kopplas till beståndens initiala skogstillstånd. En sådan kategorisering kallas domäninledning. I studien syftade domänindelningen till två saker. Dels att exkludera bestånd som inte är relevanta för studien (synonymt med bestånd som inte uppfyller Skogsstyrelsens krav för användande av gallringsmall för tall i norra Sverige) och dels för att sänka lägsta ålder för slutavverkning i vissa län enligt tidigare redogörelse. Domänindelningen i dess exakta utförande finns redogjord för i bilaga 1.

### **TPG-inställningar**

Domänindelningen var densamma för samtliga alternativ. Vad som skiljde alternativen åt var den skogsskötsel som simulerades. I Heureka bestäms detta i vad som kallas Treatment Program Generator (TPG). De viktigaste skillnaderna i TPG-inställningar beskrivs nedan. I bilaga 1 finns en fullständig redogörelse för standardavvikande TPG-inställningar som användes i studien. De som inte nämns där hade standardvärden för den programversion som användes.

Alternativ SKS betraktas som en konsekvensanalys om gallringen utförs enligt Skogsstyrelsens gallringsmall 1984. Valet av gallringsmall har en effekt på analysen som bygger på följande princip – ett bestånds grundyta, övre höjd och ståndortsindex placerar ett bestånd i gallringsmallens tvådimensionella diagram (se Figur 1). När beståndet växer förbi mallens gräns för rekommenderad gallring tillåts Heureka simulera gallring. I alternativ SKS tilläts ingen förskjutning av gallring från och med denna tidpunkt, utan bestånden gallrades alltid omedelbart (vid första femårsperiod) när ett bestånd växer förbi grundytekurvan som utgör den nedre kanten av fält 1 i Figur 1. Andra valbara gallringsmallar har andra grundytekurvor för att föreslå gallring.

För att ge stor handlingsfrihet i simuleringen bör så få begränsningar som möjligt råda i detta alternativ. Därför sattes ingen gräns för beståndshöjd, gallringstidpunkt, antal gallringar etc.

Alternativ ING är en konsekvensanalys för gallring enligt INGVAR. Därför har ING samma TPG-inställningar som alternativ SKS på alla punkter utom en. Skillnaden är att den gallringsmall som följdes på samma rigida sätt som ovan var INGVARs gallringsmall. Den har en annan grundytekurva för att tillåta gallring. I övrigt användes samma skötselanpassningar som i alternativ SKS.

I alternativ NYA har skogsskötseln anpassats till Skogsstyrelsens nutida rekommendationer (2015). Riktlinjerna som kommunicerats handlar bland annat att skapa stormfasta bestånd med god virkesskörd (Skogsstyrelsen (2016), Näslund, personlig kontakt). Följande riktlinjer har implementerats på simuleringen:

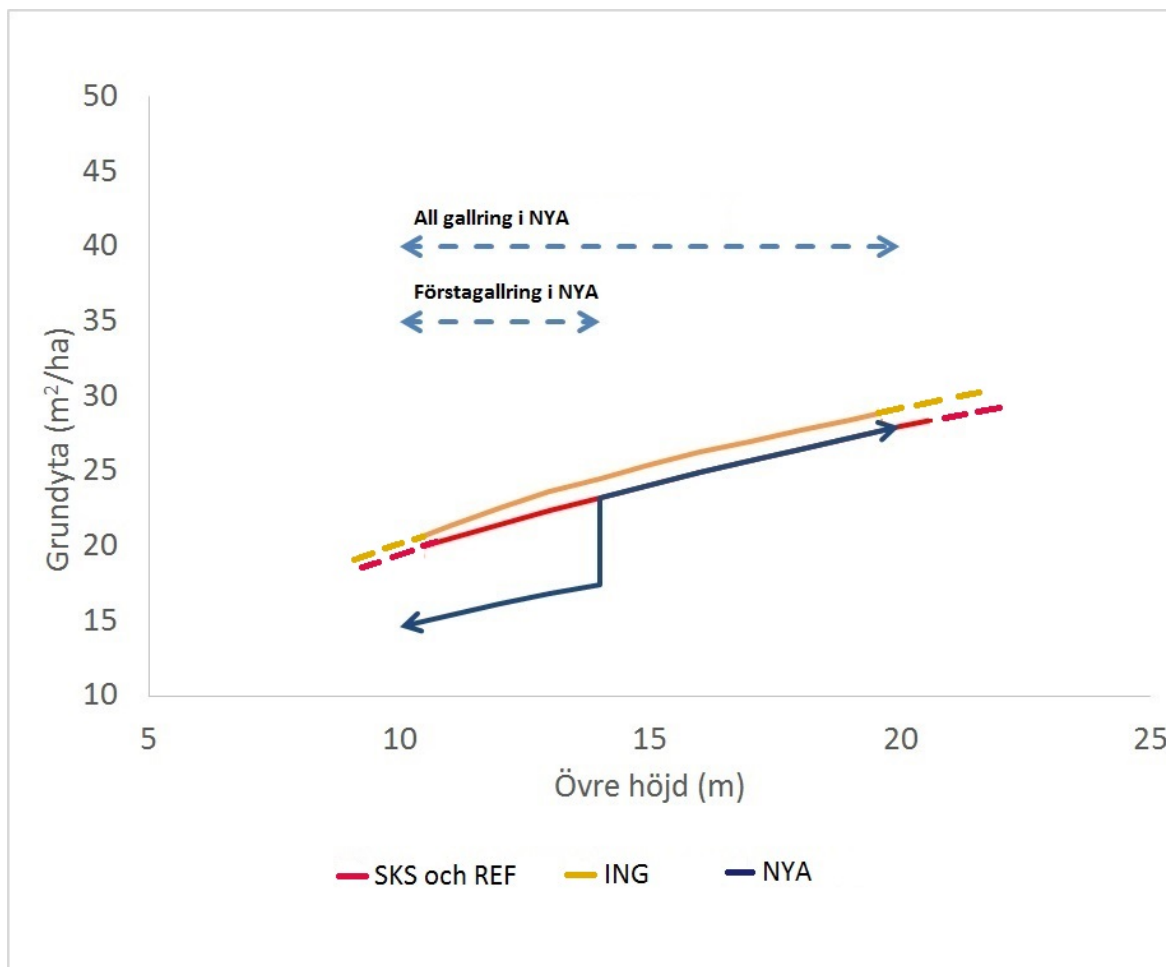
- Första gallring utförs alltid i höjdintervallet 10-14 m (övre höjd)
- Ingen gallring vid höjder > 20 m (övre höjd)
- Inga monokulturer ska skapas via gallring
- Maximalt två gallringar av ett bestånd tillåts under samma omloppstid

Skogsstyrelsens gallringsmall användes. Det innebär att gallring kommer att föreslås först när beståndet passerar den grundnytekurva som (är övre höjd- och ståndortsindexspecifik och) finns i Skogsstyrelsens gallringsmall. I detta alternativ tilläts även Heureka att förskjuta gallring med upp till fem stycken femårsperioder från och med att ett bestånd växer förbi denna grundnytegräns. Detta står i kontrast mot TPG-inställningarna i alternativ SKS och ING, där ingen sådan förskjutning tilläts.

I alternativ NYA finns det ett till undantag mot principen med grundnytekurva. Förstagallring tvingades in vid övre höjd 10-14 meter för alla bestånd, förutsatt att beståndet någon gång under detta höjdintervall hade en grundnyta som motsvarar 75 % av det ordinarie grundnytekravet för att ett bestånd ska gallras enligt Skogsstyrelsens gallringsmall.

Det sista, alternativ REF, används som referensalternativ. Här användes Skogsstyrelsens mall återigen för att styra när gallring först föreslås. Gallring tilläts dock upp till 5 perioder senare än mallen föreslog, precis som i NYA. I övrigt var TPG-inställningarna desamma som i alternativ SKS och ING.

I de fall det fanns skillnader i TPG-inställningar för olika alternativ behandlade dessa alltid hur gallring ska tillåtas. Skillnaderna i grundnytekrav visualiseras schematiskt i Figur 3, där kurvorna betecknar vilken grundnyta som krävs vid en viss övre höjd för att gallring tilläts simuleras. Notera att fler parametrar reglerar hur gallring simulerades i olika alternativ än bara de som visas i figuren (eventuella höjdgränser, antal tillåtna gallringar och antal perioder som gallring fick senareläggas).



**Figur 3.** Principiell skiss för nedre grunddytekravet för att gallring ska tillåtas i simuleringen i olika alternativ. Höjdintervallet för tillåten gallring enligt Skogsstyrelsens skötselrekommendationer (vilket applicerades i NYA) visas också. Övriga alternativ hade ingen motsvarande höjdbegränsning för gallring, varför dessa pilars start- och slutpunkt i x-led ej är överensstämmande med hur simulering av gallring tilläts.

Lägsta ålder för slutavverkning justerades ned i samtliga alternativ i studien. Det gjordes för att gå en förmodad lagändring tillmötes. Åldersgränsen sänktes med 10 år på marker med SI (H100) upp till och med T23 och med 5 år på marker med SI (H100) T24 och högre.

### ***Delstudie 2: Nya gallringsmallar för tall i norra Sverige***

I denna delstudie utformades nya gallringsmallar för tall i norra Sverige. Dataunderlaget till mallarna utgjordes av resultatet från alternativ NYA. Syftet med gallringsmallen är att den ska kunna användas som en fingervisning på hur skogsskötsel bör bedrivas, med grundtanken att skogen ska skötas under hela omloppstiden för att producera virke och ekonomiskt värde. Det motiverar att exkludera bestånd som ur ovanstående synpunkt skotts undermåligt. Därför inkluderades bara bestånd som tidigare under pågående omloppstid röjts av Heureka.

Resultatmallarna från delstudien redovisas som tvådimensionella punktdiagram med övre höjd och grunddyta på axlarna. En punkt i diagrammen visar ett bestånd som gallrats eller slutavverkats i alternativ NYA. Punktsvärmen kan därför betraktas som markeringar för lämpligt utvecklingstillstånd för den åtgärd som avses. Syftet med dessa mallar är att de ska kunna användas internt av Skogsstyrelsen som ett verktyg vid rådgivning. De bör ha en

pedagogisk poäng som är lätt att förmedla. Potentiella användare av mallarna har sedan tidigare god förståelse för detta utförande och användarna har god förståelse för en ny mall av samma typ.

I diagrammen markerades även de fält som markerar när gallring rekommenderas i Skogsstyrelsens respektive INGVARs mallar. Fälten finns med i figurerna för att synliggöra skillnader och likheter mellan de mallarna och resultatmallarna från denna delstudie.

Gallringsmallarna innehåller även utvecklingslinjer. De är approximationer. Utvecklingslinjerna är linjära och löper från den genomsnittliga övre höjden och grundytan *efter* en typ av åtgärd till motsvarande punkt *innan* nästa åtgärd. Syftet med dessa är att ge en ungefärlig utvecklingsprognos för ett bestånd, oavsett om det gallrats vid en tidpunkt som överensstämmer med gallringsmallens föreslagna tidpunkter eller ej.

Gallringsmallarna är ståndortsindexvisa och är åtta till antalet för respektive kalkylränta. Respektive mall täcker ett ståndortsindexintervall. Det lägsta intervallet är upp till och med T14, det högsta intervallet är från och med T27 och uppåt. Däremellan täcker varje gallringsmall ett intervall om 2 m (H100).

Diagrammen innehåller punkter som representerar skogliga åtgärder av olika slag (första- och andragallringar samt slutavverkningar efter ingen, en eller två gallringar). I vissa diagram har dock vissa typer av åtgärder exkluderats för att underlätta tolkning. Ett hypotetiskt exempel på detta är följande: 300 förstagallringar har utförts i SI-klass 21-22 och dessa redovisas i diagrammet. 298 andragallringar har utförts och de övriga 2 bestånden har slutavverkats utan en andra gallring. I denna gallringsmall har i så fall bestånd där åtgärden "Slutavverkning efter en gallring" tagits bort på grund av de relativt få bestånd som sköttes på detta vis. Detta motiveras genom att syftet med gallringsmallarna i delstudien är att förmedla generella riktlinjer snarare än att redovisa alla möjliga kombinationer av skötselåtgärder.

### ***Delstudie 3: Gallringsmodeller genom binär logistisk regression***

#### **Binär logistisk regression**

I studiens tredje del utformades en alternativ gallringsmall för tall i norra Sverige. Gallringsmallen baserades på resultatet från alternativ NYA, i vilket Skogsstyrelsens skötselrekommendationer från 2015 var gällande och högsta nuvärde söktes i varje bestånd. Gallringsmallen, som från och med nu kallas gallringsmodellen, är en matematisk modell som beräknats via logistisk binär regression. Regressionen undersöker kontinuerliga och kategoriska oberoende variablers relation till en binär responsvariabel. I studien analyserades relationen mellan skogliga variabler för ett bestånd (grundyta, övre höjd, grundytavägd medeldiameter, grundytavägd medelhöjd, ålder, stamantal, volym, ståndortsindex och antal tidigare gallringar) och huruvida samma bestånd gallrades eller ej av Heureka. Analysen ger sedan en funktion som skattar sannolikheten för att responsvariabeln Gallring? ska anta värdet "Ja". Med andra ord skattar gallringsmodellen sannolikheten för att ett bestånd hade gallrats av Heureka i NYA.

Regressionskvationen följer funktionen

$$p_1 = \frac{\exp(y')}{(1 + \exp(y'))}$$

där

$p_1$  = är skattad sannolikhet för responseventet Gallring?=Ja

$$y' = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

där

$\beta_i, i = 0 - n$  är parametrar

$x_j, j = 1 - n$  är oberoende variabler

När uttrycket  $y'$  ökar innebär det att sannolikheten för att gallring har utförts av Heureka i NYA ökar. Regressionskvationen är i föreliggande studie synonymt med gallringsmodellen.

### Inklusionskrav

Eftersom analysen syftar till att bygga en modell som skattar sannolikheten för gallring bör man exkludera bestånd som man med säkerhet vet inte gallrades. I Heureka regleras gallringssimulering genom att ett grundytekrav måste uppfyllas av ett bestånd för att gallring ska tillåtas. Kravet är specifikt för gallringsmallen som används, vilket i NYA var Skogsstyrelsens gallringsmall från 1984. Kravet är en matematisk funktion som beror på övre höjd och ståndortsindex. Heureka redovisar en approximering av gallringsmallen i form av denna matematiska funktion. Den kallar vi "SKS approximering".

$$GY (m) = -25,90492203 + SI (m, H100) * 0,53672045 + \ln(\ddot{O}H (m)) * 15,30465492 - \ddot{O}H (m) * 0,094893472$$

Funktionen är dock en approximering av *mitten* av det fält där Skogsstyrelsens mall rekommenderar gallring (se fält 1 i Figur 1). Det som eftersöktes var en funktion för den gräns där Heureka tillåter simulering av gallring. Genom att sänka denna kurva stegvis till alla utförda gallringar i alternativ NYA befann sig ovanför kurvan upptäcktes att gallring simulerades som tidigast när grundytan i ett bestånd uppnår 78 % av ovanstående funktions värde. Således måste ett bestånd där gallring tillåts hysa en grundyta som innan åtgärd motsvarar

$$GY (m^2/ha) \geq SKS \text{ approximering} * 0,78 \quad [GY\text{-inklusionskrav 1}]$$

Krav för gallringssimulering fanns också beträffande övre höjden, vilket ställdes in i TPG. I NYA tilläts gallring endast i bestånd som hade

$$10 \leq \ddot{O}H (m) \leq 20 \quad [\ddot{O}H\text{-inklusionskrav 1}]$$

Eftersom förstagallring tvingades in i höjdintervallet 10-14m ( $\ddot{O}H$ ) i NYA om grundytan uppfyllde 75 % av grundytekravet för att gallringssimulering ska tillåtas, formulerades även en funktion för detta

$$GY (m^2/ha) \geq [GY\text{-inklusionskrav 1}] * 0,75 \quad [GY\text{-inklusionskrav 2}]$$

Höjdintervallet för [GY-inklusionskrav 2] gällde som nämnt ovan endast i höjdintervallet

$$10 \leq \ddot{O}H \text{ (m)} \leq 14$$

[ÖH-inklusionskrav 2]

Vidare tilläts gallring maximalt två gånger för samma bestånd under en omloppstid, varför man vet att de enda bestånd som tilläts gallras var de med

$$0 \leq \textit{Tidigare gallringar} \leq 1$$

[TG-inklusionskrav]

Sammantaget innebär det att gallring simulerades endast om bestånd uppfyllde minst en av följande två kombinationer av krav:

K1: [GY-inklusionskrav 1] och [ÖH-inklusionskrav 1] och [TG-inklusionskrav]

K2: [GY-inklusionskrav 2] och [ÖH-inklusionskrav 2] och [TG-inklusionskrav]

Alla bestånd som uppfyllde K1 eller K2 ovan var bestånd där Heureka tilläts simulera gallring. Dessa bestånd tilldelades värdet "Ja" för variabeln "Gallringsbehörig?".

### Datamaterial för regressionen

Ur de gallringsbehöriga bestånden valdes ett stratifierat stickprov enligt Tabell 2. Olika strata konstruerades för bestånd som gallrats noll respektive en gång. Så gjordes därför att grundtekravet för att simulera gallring var olika för de två grupperna bestånd och med denna metod kommer analysen tillhandahålla olika funktioner för de två möjliga värdena på "tidigare gallring". Olika storlek på data var framtvingat på grund av att kvasikomplett separation<sup>1</sup> uppstod när samma datastorlek användes till regression på de två datamaterialen. 400 bestånd användes därför i regressionen av resultatet för 1,5 % kalkylränta och 800 bestånd användes i regressionen av resultatet för 2,5 % kalkylränta.

**Tabell 2.** Dataunderlag för binär logistisk regression. Tabellen visar fördelningen mellan strata för de 400 respektive 800 bestånden som slumpades fram från NYA med 1,5 % respektive 2,5 % kalkylränta.

Stratum	Gallringsbehörig?	Antal tidigare gallringar	Gallring?	Antal bestånd, 1,5 %	Antal bestånd, 2,5 %
1	Ja	0	Nej	100	200
2	Ja	0	Ja	100	200
3	Ja	1	Nej	100	200
4	Ja	1	Ja	100	200

### Modellutvärdering

Gallringsmodellerna utvärderades genom att först låta modellen skatta sannolikheten för gallring för alla gallringsbehöriga bestånd. Därefter studerades i vilken utsträckning modellen föreslog gallring eller icke gallring i överensstämmelse med gallringarna som utfördes av Heureka i NYA. Detta genomförs genom att studera förekomsten av de fyra kategorierna enligt Tabell 3. Varje bestånd kommer vid modellutvärderingen att placeras i en av fyra kategorier. Kategori 1 (Heureka gallrade beståndet och modellen föreslog

<sup>1</sup> *Komplett separation* är ett fenomen som uppstår när inträffande av responseventet (dvs den händelse vars sannolikhet analysen syftar till att skatta, vilket i studien är Gallring?=Ja) är perfekt avskilt i ett intervall av en oberoende variabel. Anta att för alla bestånd med grundyta under 15 m<sup>2</sup>/ha är Gallring?=Nej och för alla bestånd med grundyta lika med eller större än 15 m<sup>2</sup>/ha är Gallring?=Ja. Detta är komplett separation. *Kvasikomplett separation* i sin tur är ett koncept där detta tillstånd delvis råder. Exempelvis att för bestånd med grundyta under 15 m<sup>2</sup>/ha är alltid Gallring?=Nej, bestånd med grundyta över 15 m<sup>2</sup>/ha är alltid Gallring?=Ja, men för bestånd med grundyta lika med 15 m<sup>2</sup>/ha förekommer både "Ja" och "Nej" som värde för "Gallring?". Om separation uppstår tillåter inte MiniTab att regressionen genomförs. (Anon. n.d.)

detsamma) och kategori 4 (Heureka avstod gallring och modellen föreslog detsamma) innebär att modellen gallrade ”korrekt”. Om ett bestånd hamnar i kategori 2 (modellen föreslog gallring men Heureka avstod) eller kategori 3 (Heureka gallrade men modellen föreslog att avstå) innebär att modellen föreslår gallring ”felaktigt”.

**Tabell 3.** Kategorifördelning. Fördelning av bestånd mellan de fyra olika kategorierna med avseende på gallring enligt modell och Heureka. Ett bestånd som Heureka och modellen gallrar tillhör kategori 1. Ett bestånd som Heureka och modellen avstår att gallra tillhör kategori 4. Ett bestånd som Heureka avstår att gallra och modellen gallrar tillhör kategori 2. Ett bestånd som Heureka gallrar och modellen avstår att gallra tillhör kategori 3.

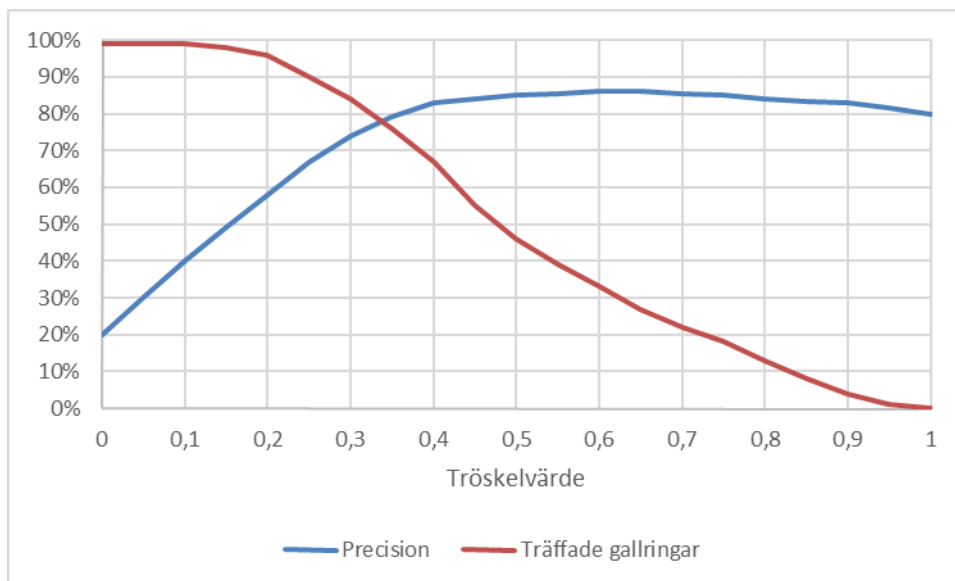
Modell	Heureka	
	Gallring	Icke gallring
Gallring	Kategori 1	Kategori 2
Icke gallring	Kategori 3	Kategori 4

Fördelningen av bestånd mellan dessa fyra kategorier avgör modellens *precision*. Precisionen definieras som summan av antalet bestånd i kategori 1 och 4 dividerat med summan av antalet bestånd i alla kategorier (dvs alla gallringsbehöriga bestånd). Precisionen är ett mått på modellens kvalitet.

### Tröskelvärde, precision och träffade gallringar

För att mäta överensstämmelsen mellan gallringsmodellernas rekommendation och Heurekas utförda gallringar måste ett tröskelvärde definieras. För alla bestånd med högre funktionsvärde än tröskelvärdet kommer modellen att rekommendera gallring och för alla bestånd med lägre funktionsvärde än tröskelvärdet kommer rekommendationen vara att avstå gallring. Det förefaller mest logiskt att föreslå gallring till alla bestånd med skattad sannolikhet  $>50\%$  men då sannolikhetsfördelningen inte är likformig ger ett annat värde högre precision. Om tröskelvärdet förändras skiftar gallringsmodellens rekommendation. Sätts ett högt tröskelvärde hamnar allt fler bestånd i kategori 3 och 4 i Tabell 3. På samma sätt kan bestånden flyttas till kategori 1 och 2 genom att sänka tröskelvärdet (närmare 0) vid vilket man föreslår gallring. Precisionen är därför olika för olika tröskelvärden.

Ännu ett dilemma följer med tröskelvärdets natur. Med 100-åriga planeringshorisonter förekommer varje bestånd 21 gånger (period 0-20) i datat som analyserades och Heureka tilläts gallra ett bestånd maximalt två gånger under samma omloppstid. Därför kan man hysa misstanke om att relativt hög modellprecision kan uppnås genom att alltid avstå gallring. Således bör bedömningen av gallringsmodellen kalibreras genom att andelen av Heurekas utförda gallringar som föreslås av modellen redovisas. Detta är antalet bestånd i kategori 1 dividerat med antalet bestånd i kategori 1 och 3 i Tabell 3. Detta är vad som i Figur 4 benämns ”Träffade gallringar” och även detta är beroende av tröskelvärdet.



**Figur 4.** Exempelfigur modellutvärdering. Precision är definierat som i vilken utsträckning gallringsmodellen föreslår gallring i enlighet med hur Heureka valde att gallra. Träffade gallringar visar vilken andel av de gallringar som Heureka utförde i alternativet som föreslås av modellen vid olika tröskelvärden.

Precision och träffade gallringar bör inte vara de enda måtten på gallringsmodellens kvalitet. Kvaliteten är även avhängig dess praktiska tillämpbarhet. En viktig aspekt av detta är att indatat i gallringsmodellen ska vara lätt att förvärva vid inventering. Detta är svårt att kvantifiera och mäta. Här valdes variabelkombinationen Hgv (grundtyevägd medelhöjd), Dgv (grundtyevägd medeldiameter), ålder, ståndortsindex samt antal tidigare gallringar. Utöver denna variabelkombination prövades ett antal andra diton. Utav de variabelkombinationer som testades redovisas två stycken. Den första är den som gav högst precision vilken kallas modell 1. Den andra är den som ovan anses vara tillämpbar, kallad modell 2.



## Resultat

### *Delstudie 1: Fyra alternativ på stöd för gallringsbeslut*

Högst nuvärde uppnåddes i REF (Tabell 4). NYA gav näst högst nuvärde, följt av ING och SKS gav lägst. Detta gällde för båda kalkylräntorna. Det relativa nuvärdet (alternativens respektive nuvärden uttryckt som andel av nuvärdet för det alternativ som hade högst nuvärde) för SKS, ING och NYA var högre vid 2,5 % räntekrav.

*Tabell 4. Nuvärde för olika alternativ. Relativt nuvärde beräknas som alternativets nuvärde relativt nuvärdet för det alternativ som hade det högsta nuvärdet för given kalkylränta.*

<b>Alternativ</b>	<b>SKS</b>	<b>ING</b>	<b>NYA</b>	<b>REF</b>
1,5 % kalkylränta				
Nuvärde (SEK/ha)	34574	36036	36599	37653
Relativt nuvärde	91,8 %	95,7 %	97,2 %	100 %
2,5 % kalkylränta				
Nuvärde (SEK/ha)	20382	21245	21756	22124
Relativt nuvärde	92,1 %	96,0 %	98,3 %	100 %

### Jämförelse mellan alternativ med kalkylränta 1,5 %

Utförda gallringar i olika alternativ skiljde sig åt i antal, tidpunkt och avkastning. En sammanställning över detta kan för alternativen med kalkylränta 1,5 % ses i Tabell 5.

**Tabell 5.** Gallringar och slutavverkningar i alternativ med kalkylränta 1,5 %. Aritmetiska medelvärden innan utförd åtgärd. "Första" till "sjätte" betecknar vilken gallring i ordningen det handlar om för en specifik provyta. Förkortningar: GY=grundyta, ÖH=övre höjd, Dgv=grundytevägd medeldiameter.

SKS	Antal	GY	ÖH	Ålder	Dgv	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
		(m <sup>2</sup> /ha)			(cm)		
	1309		13,				
<b>Alla gallringar</b>	3	21,5	3	47,6	16,3	478	29,9
			11,				
<b>första</b>	6323	19,6	1	41,4	13,9	-2014	29,8
			14,				
<b>andra</b>	4671	22,3	2	50,7	17,2	1347	30,0
			18,				
<b>tredje</b>	1882	25,7	0	59,1	21,4	5986	30,0
			19,				
<b>fjärde</b>	188	26,8	6	61,1	22,5	6766	30,0
			20,				
<b>femte</b>	26	26,9	2	62,6	20,3	6141	30,2
			18,				
<b>sjätte</b>	3	24,1	3	68,2	16,0	1542	29,7
			21,				
<b>Slutavverkning</b>	5657	29,8	0	115,0	28,3	60854	100,0
ING	Antal	GY	ÖH	Ålder	Dgv	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
		(m <sup>2</sup> /ha)			(cm)		
	1003		14,				
<b>Alla gallringar</b>	9	24,5	3	49,9	16,7	1526	29,9
			12,				
<b>första</b>	5737	22,9	5	45,0	14,9	-582	29,8
			16,				
<b>andra</b>	3560	26,2	1	55,9	18,6	3799	30,0
			19,				
<b>tredje</b>	653	28,7	0	59,3	22,0	7176	30,0
			19,				
<b>fjärde</b>	76	29,0	6	60,6	20,7	5309	30,0
			19,				
<b>femte</b>	11	28,5	6	63,3	18,4	3266	29,8
			21,				
<b>sjätte</b>	2	30,2	0	68,7	17,3	4501	30,0
			21,				
<b>Slutavverkning</b>	5724	30,4	0	114,1	27,8	61199	100,0
NYA	Antal	GY	ÖH	Ålder	Dgv	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
		(m <sup>2</sup> /ha)			(cm)		
			14,				
<b>Alla gallringar</b>	8793	25,2	8	52,4	16,9	1820	29,9

				14,				
	<b>första</b>	5303	25,8	0	50,7	16,3	1139	29,8
				16,				
	<b>andra</b>	3490	24,3	0	55,1	17,9	2856	30,0
	<b>tredje</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>fjärde</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>femte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>sjätte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
				20,				
	<b>Slutavverkning</b>	5739	30,9	9	113,5	27,4	61285	100,0
			<b>GY</b>			<b>Dgv</b>		
<b>REF</b>	<b>Ant</b>	<b>al</b>	<b>(m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>ÖH</b>	<b>Ålde</b>	<b>(cm)</b>	<b>Nettointäk</b>	<b>Gallringsstyrk</b>
			<b>)</b>	<b>(m)</b>	<b>r (år)</b>	<b>)</b>	<b>t (SEK/ha)</b>	<b>a (%)</b>
				17,				
	<b>Alla gallringar</b>	6273	30,0	7	60,9	19,5	5985	29,8
				17,				
	<b>första</b>	4188	31,5	3	62,3	19,1	6030	29,8
				18,				
	<b>andra</b>	1587	27,3	6	58,0	20,0	6300	30,0
				18,				
	<b>tredje</b>	364	25,9	0	57,0	20,6	4496	30,0
				18,				
	<b>fjärde</b>	107	26,1	9	60,8	20,8	4888	30,0
				20,				
	<b>femte</b>	24	26,7	0	62,4	19,7	5261	30,3
				18,				
	<b>sjätte</b>	3	24,1	3	68,2	16,0	1542	29,7
				21,				
	<b>Slutavverkning</b>	5742	29,9	0	114,0	27,6	59912	100,0

Alternativen REF och NYA hade ingen typ av gallring som i genomsnitt gav ett negativt netto. I både SKS och ING gav förstagallringarna ett negativt netto i genomsnitt. De högsta genomsnittliga gallringsintäkterna hade REF med 5985 SEK/ha. Motsvarande siffror för andra alternativ var 1820 SEK/ha för NYA, 1526 SEK/ha för ING samt 478 SEK/ha för SKS. Ekonomiska skillnader mellan alternativen fanns även för slutavverkning. Med 61199 SEK/ha hade ING slutavverkningar med högst nettointäkt, följt av NYA, SKS och slutligen REF.

Förstagallring utfördes vid högst genomsnittlig övre höjd i REF (17,3 m). Därefter kom NYA vid 14,0 m, ING vid 12,5 m och slutligen SKS vars förstagallringar hade en genomsnittlig övre höjd på 11,1 m. Det alternativ som gallrade vid de högsta höjderna (ÖH) var ING, där sjättegallringarna hade en genomsnittlig höjd på 21 m ÖH. Överlag ökade grundytan vid en gallring med antalet tidigare utförda gallringar. Mönstret kan skönjas i SKS, ING och REF, med undantag för sjättegallringarna i SKS och ING, som utfördes vid lägre genomsnittlig grundyta än femtegallringarna i dessa alternativ. Mönstret återfinns inte i NYA, där den grundytan i genomsnitt var 1,5 m<sup>2</sup>/ha lägre vid andragallring än vid förstagallring.

Den genomsnittliga slutavverkningsåldern var ungefär lika i de fyra alternativen. SKS hade den högsta (115 år) och lägst var den i NYA (113,5 år).

Alternativ SKS, ING och REF gallrade samma bestånd som mest sex gånger under en och samma omloppstid. NYA gallrade aldrig samma bestånd mer än två gånger, vilket var det maximalt tillåtna antalet i detta alternativ enligt TPG-inställningarna. Det totala antalet utförda gallringar varierade också mellan alternativen. SKS gallrade flest gånger, följt av ING och sedan REF. NYA hade lägst antal utförda gallringar.

Gallringsstyrkan låg konsekvent vid cirka 30 % för alla typer av gallringar för alla alternativ.

### Jämförelse mellan alternativ med kalkylränta 2,5 %

Skillnader i skogsskötsel och ekonomi uppvisades även vid 2,5 % räntekrav. Alternativens gallringar och slutavverkningar är sammanfattade i Tabell 6.

**Tabell 6.** Gallringar och slutavverkningar i alternativ med kalkylränta 2,5 %. Aritmetiska medelvärden innan utförd åtgärd. "Första" till "sjätte" betecknar vilken gallring i ordningen det handlar om. Förkortningar: GY=grundyta, ÖH=övre höjd, Dgv=grundytevägd medeldiameter.

SKS	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
	1438		13,				
<b>Alla gallringar</b>	0	21,5	3	47,6	16,3	501	29,9
			11,				
<b>första</b>	6796	19,4	0	41,1	13,8	-2092	29,8
			14,				
<b>andra</b>	5169	22,2	1	50,6	17,1	1271	30,0
			18,				
<b>tredje</b>	2189	25,7	0	59,0	21,4	6075	30,0
			19,				
<b>fjärde</b>	197	26,9	7	61,0	22,7	7031	30,0
			20,				
<b>femte</b>	26	26,9	2	62,6	20,3	6141	30,2
			18,				
<b>sjätte</b>	3	24,1	3	68,2	16,0	1542	29,7
			20,				
<b>Slutavverkning</b>	6129	28,2	5	106,9	27,2	52922	100,0
ING	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
	1111		14,				
<b>Alla gallringar</b>	4	24,5	2	50,0	16,7	1562	29,9
			12,				
<b>första</b>	6230	22,8	4	44,9	14,9	-641	29,8
			16,				
<b>andra</b>	4049	26,2	1	55,9	18,6	3779	30,0
			19,				
<b>tredje</b>	746	28,8	0	59,2	22,1	7505	30,0
			19,				
<b>fjärde</b>	76	29,0	6	60,6	20,7	5309	30,0
			19,				
<b>femte</b>	11	28,5	6	63,3	18,4	3266	29,8
			21,				
<b>sjätte</b>	2	30,2	0	68,7	17,3	4501	30,0
			20,				
<b>Slutavverkning</b>	6213	28,9	4	105,7	26,6	52847	100,0
NYA	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (%)
			14,				
<b>Alla gallringar</b>	9757	25,1	7	52,5	16,9	1778	29,9

			13,					
	<b>första</b>	5756	25,6	9	50,5	16,2	1009	29,9
			15,					
	<b>andra</b>	4001	24,2	9	55,3	18,0	2882	30,0
	<b>tredje</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>fjärde</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>femte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	<b>sjätte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
			20,					
	<b>Slutavverkning</b>	6251	29,4	4	105,1	26,2	53109	100,0
			<b>GY</b>			<b>Dgv</b>		
<b>REF</b>	<b>Ant</b>	<b>al</b>	<b>(m<sup>2</sup>/ha )</b>	<b>ÖH</b>	<b>Ålder (år)</b>	<b>(cm )</b>	<b>Nettointäkt (SEK/ha)</b>	<b>Gallringsstyrka (%)</b>
			17,					
	<b>Alla gallringar</b>	7697	29,5	5	60,5	19,3	5707	29,9
			16,					
	<b>första</b>	4856	31,0	9	61,1	18,7	5468	29,8
			18,					
	<b>andra</b>	2339	27,1	7	59,8	20,1	6452	30,0
			18,					
	<b>tredje</b>	368	25,8	0	56,9	20,6	4451	30,0
			18,					
	<b>fjärde</b>	107	26,1	9	60,7	20,7	4796	30,0
			20,					
	<b>femte</b>	24	26,7	0	62,4	19,7	5261	30,3
			18,					
	<b>sjätte</b>	3	24,1	3	68,2	16,0	1542	29,7
			20,					
	<b>Slutavverkning</b>	6137	28,2	5	106,6	26,5	51691	100,0

Även SKS och ING hade negativa netton vid förstagallring, vilket visas i Tabell 6. Alla andra gallringar i dessa alternativ gav positiva netton, liksom alla typer av gallringar i NYA och REF. Den genomsnittliga gallringen i REF gav en nettointäkt på 5707 SEK/ha vilket var högst för alla alternativ. Näst högst genomsnittligt gallringsnetto hade NYA följt av ING och slutligen SKS. Högst nettointäkt vid slutavverkning hade NYA. SKS hade näst högst, följt av ING och REF hade den lägsta nettointäkten för slutavverkning.

Alternativen SKS och ING hade genomsnittliga åldrar för samtliga gallringar på 47,6 respektive 50,0 år. NYA hade gallringar med genomsnittlig ålder 52,5 år och motsvarande siffra i REF var 60,5 år. Vad beträffar slutavverkningarna så utfördes dessa vid högst ålder i SKS, 106,9 år. I REF ägde slutavverkningarna rum vid 106,6 år, i ING vid 105,7 år och i NYA vid 105,1 år. Skillnaden mellan maximum och minimum var således 1,8 år.

Somliga bestånd gallrades upp till sex gånger i SKS, ING och REF. Mest gallringsbenägen var SKS, som använde Skogsstyrelsens gallringsmall och gallrade 14380 gånger. Näst flest gallringar utfördes i alternativ ING, följt av NYA och REF gallrade mest sällan. Samtliga alternativ slutavverkade mer än 6000 bestånd. Flest antal slutavverkningar hade NYA. Därefter kom ING, följt av REF och minst antal slutavverkningar hade SKS.

Gallringsstyrkan var cirka 30 % för alla typer av gallringar i alla alternativ.

### Jämförelse mellan systemalternativ

För att visa på räntekravets påverkan på gallring och slutavverkning följer här en jämförelse mellan systemalternativ. Med det menas att alternativ med samma TPG-inställning men olika kalkylräntor jämförs. Tabell 7 visar hur en variabel förändrades när räntekravet sjönk från 2,5 % till 1,5 %.

**Tabell 7.** Känslighetsanalys med avseende på räntekrav. Skillnader i gallringar och slutavverkningar för systemalternativ. Datat i tabellen är en variabels utfall i ett alternativ vid räntekrav 1,5 % minus samma variabels utfall vid räntekrav 2,5 %. "Första" till "sjätte" betecknar vilken gallring i ordningen den posten visar. Förkortningar: GY=grundyta, ÖH=övre höjd, Dgv=grundytavägd medeldiameter.

SKS	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (procentenheter)
	-128						
<b>Alla gallringar</b>	7	0,0	0,0	0,0	0,0	-23	-0,01
<b>första</b>	-473	0,2	0,1	0,3	0,1	78	-0,01
<b>andra</b>	-498	0,1	0,1	0,1	0,1	76	0,00
<b>tredje</b>	-307	0,0	0,0	0,1	0,0	-89	0,00
			-				
<b>fjärde</b>	-9	-0,1	0,1	0,1	-0,2	-264	0,00
<b>femte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>sjätte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>Slutavverkning</b>	-472	1,6	0,5	8,1	1,1	7932	0,00
ING	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (procentenheter)
	-107						
<b>Alla gallringar</b>	5	0,0	0,0	-0,1	0,0	-36	-0,01
<b>första</b>	-493	0,1	0,1	0,1	0,1	59	-0,01
<b>andra</b>	-489	0,0	0,0	-0,1	0,1	19	0,00
<b>tredje</b>	-93	-0,1	0,0	0,1	-0,1	-329	0,00
<b>fjärde</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>femte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>sjätte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>Slutavverkning</b>	-489	1,5	0,6	8,4	1,2	8352	0,00
NYA	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	ÖH (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (procentenheter)
<b>Alla gallringar</b>	-964	0,1	0,0	-0,1	0,0	43	-0,01
<b>första</b>	-453	0,1	0,1	0,2	0,1	129	-0,01
<b>andra</b>	-511	0,1	0,0	-0,2	0,0	-27	0,00
<b>tredje</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>fjärde</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>femte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>sjätte</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Slutavverkning</b>	-512	1,4	0,5	8,4	1,2	8176	0,00

REF	Antal	GY (m <sup>2</sup> /ha)	Ö H (m)	Ålder (år)	Dgv (cm)	Nettointäkt (SEK/ha)	Gallringsstyrka (procentenheter)
	-						
	142						
<b>Alla gallringar</b>	4	0,5	0,1	0,4	0,2	278	-0,03
<b>första</b>	-668	0,5	0,3	1,2	0,4	563	-0,02
<b>andra</b>	-752	0,2	0,1	-1,8	-0,1	-152	-0,01
<b>tredje</b>	-4	0,0	0,0	0,1	0,0	45	0,01
<b>fjärde</b>	0	0,0	0,0	0,1	0,1	91	0,01
<b>femte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>sjätte</b>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>Slutavverkning</b>	-395	1,7	0,5	7,4	1,1	8221	0,00

Vissa skillnader i nettointäkt fanns för gallringarna. Med det högre räntekravet fick den genomsnittliga gallringen i SKS och ING sämre nettointäkter. Samma intäkt ökade istället i NYA och REF. Gemensamt för samtliga alternativ var att vid det lägre räntekravet utfördes slutavverkningar som i genomsnitt gav högre nettointäkt.

Skillnader i skogens tillstånd vid genomsnittlig gallring fanns för alla alternativ. I SKS, ING och NYA var variationen minst, där differensen mellan systemalternativen aldrig översteg 0,3 enheter för någon av variablerna som mättes. De största skillnaderna vid olika kalkylräntor återfanns i REF, där åldern för den genomsnittliga gallringen var 0,4 år lägre med 2,5 % kalkylränta. Trädens dimensioner minskade mest även här. Grundytan var 0,5 m<sup>2</sup>/ha lägre, övre höjden minskade med 0,1 meter och trädens diameter var 0,2 cm mindre med det högre räntekravet. Gallringarna utfördes mer olika vid olika räntekrav om man granskar första- och andragallring var för sig.

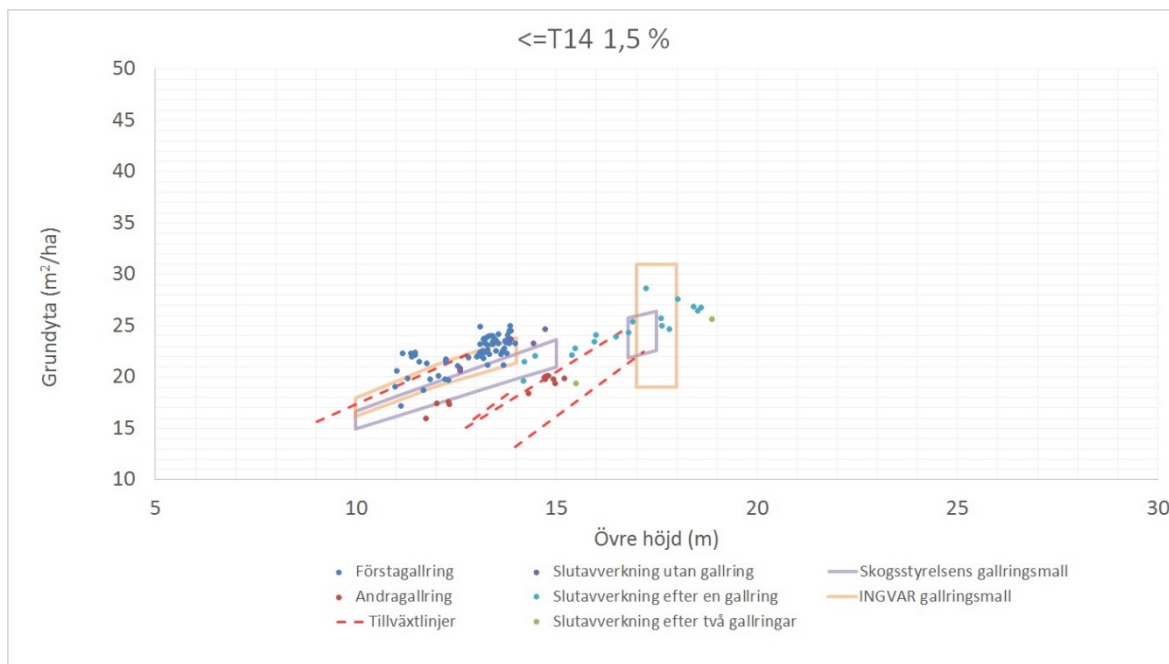
I samtliga alternativ slutavverkade Heureka vid en tidigare tidpunkt med det högre räntekravet. I alternativ ING och NYA var skillnaden störst, 8,4 år. I SKS förkortades omloppstiden med 8,1 år. Systemalternativen REF slutavverkade mest likt med avseende på ålder vid de två räntekraven med 7,4 års differens. Slutavverkningsbestånden var i samtliga alternativ glesare med lägre och klenare träd med det högre räntekravet.

Antalet utförda gallringar var lägre vid det lägre räntekravet för samtliga alternativ. Antalet sjönk med 964 till 1424 stycken gallringar beroende på alternativ. I SKS, ING och REF var det främst de tidigare gallringarna som minskade i antal. I samtliga av dessa tre alternativ valde Heureka att utföra lika många femte- och sjättegallringar. Skillnaden låg istället främst i antalet första-, andra- och tredjegallringar. I SKS sjönk även antalet fjärdgallringar med 9 stycken när det högre räntekravet applicerades. Vad beträffar antalet slutavverkningar så ökade dessa med 2,5 % kalkylränta med ca 400-500 stycken beroende på alternativ.

## ***Delstudie 2: Nya gallringsmallar för tall i norra Sverige***

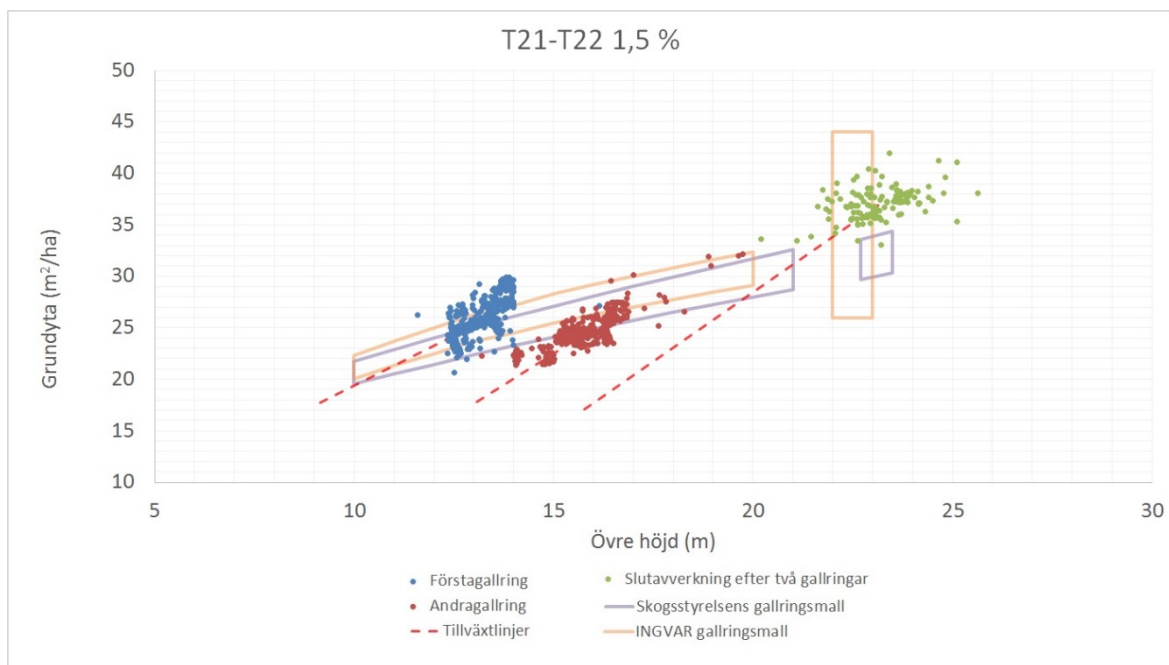
Delstudie 2 resulterade i 16 st tvådimensionella gallringsmallar. Nedan följer ett antal exempel av dessa. Samtliga diagram finns redovisade i bilaga 2.





**Figur 5.** Utförda gallringar och slutavverkningar samt traditionella gallringsmallar för ståndorter upp till T14 med kalkylränta 1,5 %. De vänstra fälten i Skogsstyrelsens respektive INGVARs gallringsmallar betecknar var gallring rekommenderas och de högra visar var slutavverkning rekommenderas.

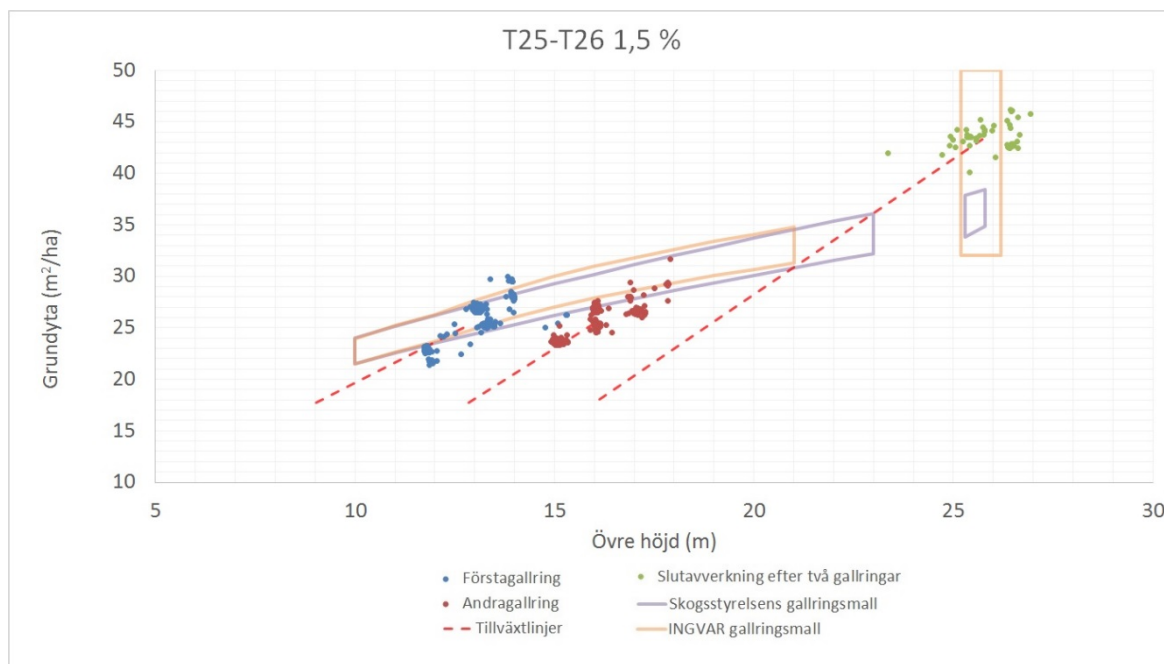
Figur 5 visar utförda åtgärder vid 1,5 % kalkylränta samt traditionella gallringsmallar för ståndortsklassen  $\leq T14$ . Denna ståndortsklass var den som i lägst grad sköttes enhetligt med avseende på antal gallringar innan slutavverkning, varför alla typer av gallringar och slutavverkningar visas.



**Figur 6.** Utförda gallringar och slutavverkningar samt traditionella gallringsmallar för ståndorter T21-T22 med kalkylränta 1,5 %. De vänstra fälten i Skogsstyrelsens respektive INGVARs gallringsmallar betecknar var gallring rekommenderas och de högra visar var slutavverkning rekommenderas.

Figur 6 visar utförda åtgärder vid 1,5 % räntekrav samt traditionella gallringsmallar för T21-T22. Här hade i princip alla slutavverkningar föregåtts av två gallringar, varför

provytor med åtgärderna ”Slutavverkning utan gallring” och ”Slutavverkning efter en gallring” uteslöts ur figuren.



**Figur 7.** Utförda gallringar och slutavverkningar samt traditionella gallringsmallar för ståndorter T25-T26 med kalkylränta 1,5 %. De vänstra fälten i Skogsstyrelsens respektive INGVARs gallringsmallar betecknar var gallring rekommenderas och de högra visar var slutavverkning rekommenderas.

Utförda åtgärder vid 1,5 % räntekrav samt traditionella gallringsmallar för T25-T26 visas i Figur 7. Även här har provytor med slutavverkningar efter färre än två gallringar exkluderats på grund av att endast ett fåtal sådana fanns.

### ***Delstudie 3: Gallringsmodeller***

#### **Koefficienter och p-värden**

Två analyser genomfördes på resultatet för 1,5 % respektive 2,5 % kalkylränta. I båda fallen var ”Gallring?” responsvariabel där värdet ”Ja” var responsevent. Vidare var ”Tidigare gallring” kategorisk oberoende variabel i båda analyser. Vilka kontinuerliga oberoende variabler som inkluderades var vad som skiljde analyserna åt. I Tabell 8 visas koefficienter och p-värden för regressionen tillhörande modell 1. De oberoende variablerna var här grundyta, grundytavägd medeldiameter, grundytavägd medelhöjd, ålder, stamantal, volym och ståndortsindex.

**Tabell 8.** Koefficienter och p-värden, Modell 1. Regressionsanalysen utfördes på 400 provytor enligt tabell 2. Analysen inkluderade variablerna grundyta (GY), grundtevägd medeldiameter (Dgv), grundtevägd medelhöjd (Hgv), ålder, stamantal, volym, ståndortsindex (SI) samt tidigare gallring (TG). Tidigare gallring är kategorisk, vilket leder till två olika koefficienter för alla variabler (och därmed olika modellfunktioner) beroende på vilket värde tidigare gallring antar (0 eller 1).

Variabel	1,5 %			2,5 %		
	Om TG=0	Om TG=1	p-värde	Om TG=0	Om TG=1	p-värde
Konstant	-18,97	-48,37	n/a	-25,19	-28,00	n/a
GY (m <sup>2</sup> /ha)	1,544	5,128	0,000	1,872	5,055	0,000
Dgv (cm)	-0,956	-0,5580	0,000	-0,6803	-0,6655	0,000
Hgv (m)	3,854	4,924	0,000	3,444	4,091	0,000
Ålder (år)	-0,1289	-0,2843	0,000	-0,09614	-0,3594	0,000
Stamantal (st/ha)	-0,000791	-0,002395	0,023	-0,001229	-0,003427	0,018
Volym (m <sup>3</sup> sk/ha)	-0,2064	-0,5093	0,000	-0,2407	-0,4370	0,000
SI (H100)	-0,5330	-0,5330	0,000	-0,3654	-1,872	0,000
TG	n/a	n/a	0,094	n/a	n/a	0,845

Tabell 9 visar koefficienter och p-värden från regressionen tillhörande modell 2. Analysen omfattade variablerna grundtevägd medeldiameter, grundtevägd medelhöjd, ålder och ståndortsindex som kontinuerliga oberoende variabler.

**Tabell 9.** Koefficienter och p-värden, Modell 2. Regressionsanalysen utfördes på 800 bestånd enligt tabell 2. Analysen inkluderade variablerna grundtevägd medeldiameter (Dgv), grundtevägd medelhöjd (Hgv), ålder, ståndortsindex (SI) samt tidigare gallring (TG). Tidigare gallring är kategorisk, vilket leder till två olika koefficienter för alla variabler (och därmed olika modellfunktioner) beroende på vilket värde tidigare gallring antar (0 eller 1).

Variabel	1,5 %			2,5 %		
	Om TG=0	Om TG=1	p-värde	Om TG=0	Om TG=1	p-värde
Konstant	9,252	9,802	n/a	5,747	8,443	n/a
Dgv (cm)	-0,7533	-0,2566	0,000	-0,3184	-0,3786	0,000
Hgv (m)	1,603	0,9469	0,000	0,8049	1,156	0,000
Ålder (år)	-0,1227	-0,1604	0,000	-0,09367	-0,1433	0,000
SI (H100)	-0,5181	-0,4648	0,000	-0,2685	-0,4841	0,000
TG	n/a	n/a	0,898	n/a	n/a	0,339

Modellernas funktioner kan härledas ur Tabell 8 och Tabell 9. För fullständig redovisning av modellfunktionerna se bilaga 3.

Tabell 8 visar att med 1,5 % räntekrav och tidigare gallring=0 gav ökad grundtevägd medelhöjd ökad sannolikhet för gallring, allt annat oförändrat. Detta avslöjas av plustecknet innan koefficienten. Att koefficienten fortfarande är positiv vid tidigare gallring = 1 men med ett högre värde avslöjar att den sannolikhetshöjande effekten av ökad grundtevägd medelhöjd var starkare om gallring utförts tidigare, allt annat oförändrat.

Efter samma princip vet vi följande: regressionerna för båda modellerna visade vid båda räntekraven att ökad grundtevägd medelhöjd ökade sannolikheten för att gallring utfördes. På omvänt sätt gav ökad grundtevägd medeldiameter, högre ålder samt högre SI minskad sannolikhet att beståndet gallrades.

Regressionen tillhörande modell 1 inkluderade dessutom variablerna grundyta, stamantal och volym. Regressionen visade för båda kalkylräntorna att ökad grundyta ökade

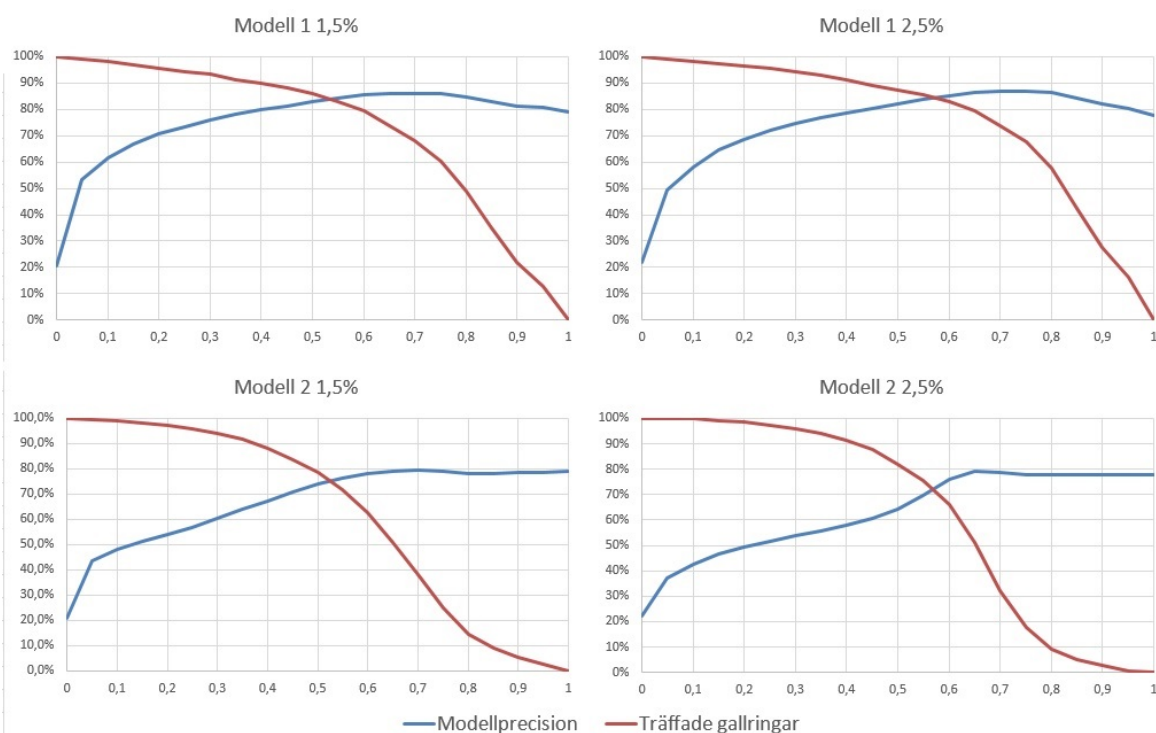
sannolikheten för gallring. Ökat stamantal och ökad volym sänkte sannolikheten för gallring. I analysen minskade också sannolikheten för gallring om beståndet tidigare gallrats. Regressionen tillhörande modell 2 skattade å andra sidan sannolikheten för gallring som högre om beståndet gallrats tidigare.

### Modellutvärdering

För att utvärdera gallringsmodellerna applicerades de på analysresultatet från det alternativ de tillhörde. Modellerna rekommenderade gallring eller icke gallring på de gallringsbehöriga (definierat i Metoder och material) bestånd som inte använts till regressionen utifrån skattad sannolikhet för gallring och tröskelvärde. Utvärderingen bestod sedan i överensstämmelsen mellan modellens gallringsförslag och hur gallring utförts av Heureka.

### Precision och träffade gallringar

Gallringsmodellernas precision och träffade gallringar vid olika tröskelvärden redovisas i Figur 8. I datat från alternativet med 1,5 % kalkylränta fanns 41325 gallringsbehöriga provytor. Orsaken till att siffran är högre än de 5574 provytorna från grunddatat är att varje provyta förekom 21 gånger (en gång per period 0-20) i analysdatat från Heureka. Motsvarande siffra med 2,5 % kalkylränta var 42372.



**Figur 8.** Utvärdering av gallringsmodeller. X-axeln visar tröskelvärde och kurvorna betecknar modellprecision och träffade gallringar vid olika tröskelvärden.

### Tröskelvärde, precisionsoptimum och kategorifördelning

Modellutvärdering för alla fyra gallringsmodeller sammanfattas i Tabell 10. Modell 1 hade högst precision, vilket var varför den inkluderades i rapporten. Vid precisionsoptimum träffade den också mer än två tredjedelar av gallringarna utförda av Heureka i NYA. Om än modell 2 var den sämre av de två hade den en precision på knappt 80 %.

Tabell 10. Tröskelvärde, fördelning mellan gallringskategorier (se Tabell 3), precision och träffade gallringar vid precisionsoptimum. För definition av variablerna se Metoder och material.  $n(1,5\%) = 41325$ .  $n(2,5\%) = 42372$ .

Modell	Räntekrav	Tröskelvärde	Gallringskategori				Precision	Träffade gallringar
			1	2	3	4		
1	1,5 %	0,70	5854	2964	2739	29768	86,2 %	68 %
1	2,5 %	0,75	6327	2431	3037	30577	87,1 %	68 %
2	1,5 %	0,70	3283	3181	5310	29551	79,5 %	38 %
2	2,5 %	0,65	4804	4323	4560	28685	79,0 %	51 %

## Diskussion

Resultatet visar att NYA, som är anpassat efter Skogsstyrelsens skötselrekommendationer, presterade ett bättre nuvärde än både SKS (som är en konsekvensanalys av Skogsstyrelsens gallringsmall 1984) och ING (dito för INGVAR). Utöver detta kan skogsskötseln i NYA beskrivas som mindre riskfylld än den i övriga alternativ. Gallringarna var nämligen färre i antal och att bestånden gallrades för sista gången vid lägst höjder i NYA vilket talar för lägre skaderisk (Persson 1975, Anon. n.d., Quine 1995).

### *Planeringsproblemet och handlingsfrihet*

Man kan resonera kring resultatet i studien ur olika perspektiv. Det skogliga planeringsproblem som gallringsbeslutet med vissa restriktioner är kan betraktas som ett optimeringsproblem. Då bör följande understrykas omedelbart - önskar man ta fasta på resultaten och dra slutsatser om dessa måste man i utgångsläget acceptera begränsningarna, det vill säga TPG-inställningarna och grunddatat. Det går inte att med föreliggande studie som underlag dra säkra slutsatser om hur skogen bör skötas nuvärdesoptimalt om man kan tänka sig gallra upp till 24 meter. Studien innehåller inga känslighetsanalyser utöver de två räntekraven som testades. Med detta klargjort antas från och med nu att restriktionerna accepteras.

Heureka-analysen hade maximalt nuvärde som målfunktion. Nuvärdet beror bland annat av skogens initiala tillstånd, virkespriser, kostnad för avverkning etc. Dessa parametrar var dock oförändrade i alla alternativ och kan inte förklara skillnaderna i nuvärde mellan olika alternativ. Det enda som varierades var vilken skogsskötsel som tilläts och nuvärdesskillnader måste förklaras med detta som anledning.

### *Delstudie 1: Vad orsakar nuvärdesskillnaderna?*

Nuvärdet var högst i REF vid båda räntekraven (Tabell 4). Att SKS hade ett lägre nuvärde (cirka 8 %) med tanke på att REF gavs en större handlingsfrihet via tillåten förskjutning av gallring från det att gallringsmallen tillät gallring. Alternativ ING och NYA skulle teoretiskt resonerat kunnat resultera i ett högre nuvärde. Handlingsutrymmet såg nämligen annorlunda ut här eftersom att en annan gallringsmall användes i ING och eftersom att inställningarna för förstagallring såg annorlunda ut i NYA. REF fick dock senarelägga gallring från det att mallen tillät åtgärden (till skillnad från ING) samt gallra upp till 10 gånger (till skillnad från NYA). Resultatet visade att detta möjliggjorde ett högre nuvärde i REF.

#### **Alternativ med samma räntekrav**

Ett annat sätt att förklara nuvärdesskillnaderna är genom att granska skillnader i gallring och slutavverkning i alternativen. Överlag gallrade SKS och ING relativt tidigt, vilket kan ses i Tabell 5 och Tabell 6. Nettointäkterna för förstagallring var negativt för båda alternativen men det räcker inte för att döma dessa gallringar som nuvärdesmässigt felaktiga. Det kan vara nuvärdesmässigt motiverat att gallra med negativ nettointäkt om det möjliggör en tillräckligt lukrativ gallring eller slutavverkning längre fram i tiden. Faktumet att REF, som var referensalternativ, började gallra så pass mycket senare i beståndsutvecklingen är en bättre indikation om att Skogsstyrelsens och INGVARs gallringsmallar föreslår tidiga gallringar som är nuvärdesmässigt inoptimala. Att officiella beslutsstöd rekommenderar gallring tidigare än vad som är nuvärdesmässigt optimalt har indikerats förr (Hyttiäinen & Tahvonen 2002). I sammanhanget bör man påpeka att

Skogsstyrelsen klargör i sin Kunskapsplattform Skogsproduktion att förstagallring ses främst som en beståndsvårdande åtgärd (Bergquist et al. 2016). Vidare leder tidiga förstagallringar till sänkt risk för vindskador (Persson 1972).

Enligt Tabell 5 och Tabell 6 slutavverkade de fyra alternativen vid liknande tidpunkter. Differensen mellan maximum och minimum var inte större än 2 år vid något av räntekraven. Om än Skogsstyrelsens och INGVARs gallringsmallar ger viss rekommendation om när slutavverkning bör utföras så har det ingen betydelse i Heureka. TPG-inställningar som styr tidpunkt för slutavverkning var desamma för alla alternativ om än optimal tidpunkt för slutavverkning indirekt påverkats av skillnader i TPG-inställningar för gallring. Den effekten lär troligtvis inte ha varit stor. Faktumet att omloppstiderna skiljer sig åt relativt lite talar för att stöden för gallringsbeslut som testades i studien har liknande optimala tidpunkter för slutavverkning.

### **Sysalternativ**

Två olika räntekrav användes. Räntan har betydelse på nettonuvärdet genom diskontering av intäkter och kostnader. Kalkylräntan har därmed präglat resultatet genom att nuvärdet pekar ut vilket skötselalternativ som är det "bästa" för varje bestånd. Detta är vad som manar Heureka att sköta skogen annorlunda med olika räntekrav (med simuleringstekniska aspekter som parentes, vilket ska redogöras för senare).

Resultatet i delstudie 1 visade att Heureka slutavverkade tidigare vid det högre räntekravet. Det är logiskt eftersom optimal omloppstid förkortas vid hårdare diskontering enligt tidigare studier (Ekvall & Bostedt 2009, Faustmann 1995). Skogens ekonomiska värde förräntar sig till slut inte med avkrävd takt. Heureka hade då kunnat välja att oftare avstå gallring med tanke på tidigare optimala tidpunkten för slutavverkning (om än omloppstiden och gallring påverkar varandra (Ekvall & Bostedt 2009, Schreuder 1971, Näslund 1969). Vad som hände var dock att Heureka gallrade oftare vid det högre räntekravet, i motsats till vad som tidigare har beskrivits som nuvärdesoptimalt (Ekvall & Bostedt 2009). Mönstret kan motiveras med att nettointäkt på detta vis uppstår närmare nutid vilket kan höja nuvärdet. Med tillräckligt högt räntekrav blir det sannolikt olönsamt att gallra alls (Ekvall & Bostedt 2009). Resultatet talar dock för att 2,5 % är för lågt för att ett sådant mönster ska uppstå.

Med tanke på de små åldersskillnaderna vid gallring (Tabell 7) kan det förefalla som om räntekravet inte spelar någon roll i beslut om när i beståndsutvecklingen man bör gallra. För även om antalet gallringar var fler i samtliga alternativ med det högre räntekravet ägde gallringarna rum vid ganska lika tidpunkter med olika kalkylräntor. En möjlig orsak till de små skillnaderna är att kalkylräntorna i studien är för lika för att ge ordentligt utslag. Förklaringen kan även ligga i hur gallring simuleras i Heureka. Både SKS och ING hade rigida inställningar såtillvida att gallring måste utföras omedelbart (vid första femårsperiod) när beståndet växt över den mallspecifika gräns som tillåter gallring. Så gjordes för att dessa alternativ syftade till att vara konsekvensanalyser för att följa respektive gallringsmall till punkt och pricka. NYA hade en regel som sa att förstagallring alltid ska utföras mellan 10 och 14 m (ÖH), förutsatt att beståndet hade en viss grundyta. Även detta är en regel som gäller oavsett förändringar i räntekravet. Därför gör man klokast i att granska gallringar i känslighetsanalysen för REF om man önskar analysera räntans effekt på beslut om gallring. Med det högre räntekravet utfördes förstagallring tidigare jämfört med det lägre räntekravet. Det beror sannolikt på att förstagallringens nettointäkt inte hinner diskonteras ned. Å andra sidan utfördes andragallring senare i tid med 2,5 % kalkylränta än med 1,5 %. Det kan inte förklaras med samma resonemang. En

möjlig orsak är istället att träden hinner tillgodogöra sig mer av dimensionstillväxten som följer förstagallringen (Agestam 2009) om andragallringen utförs senare vilket möjliggör en högre nettointäkt som kompenserar för diskonteringen.

Sammanfattningsvis kan man beskriva jämförelsen mellan kalkylräntor på följande sätt. Heureka utförde färre gallringar vid det lägre räntekravet. Utförda gallringar ägde dock rum vid lika åldrar oavsett räntekravet. Gallringsstyrkan var i princip densamma, oavsett kalkylränta. Omloppstiderna blev längre med det lägre räntekravet vilket ledde till att antalet slutavverkningar var färre i dessa alternativ.

### **Svagheter i delstudie 1**

Tillåten lägsta ålder för slutavverkning justerades ned i studien för att gå en förmodad lagändring tillmötes. Lagändringen har dock fått avslag. Resultatet gäller enligt de givna förutsättningarna. Dock slutavverkades bestånden i samtliga alternativ i genomsnitt senare än gällande lägsta ålder för slutavverkning, varför studiens legitimitet inte undergrävs nämnvärt. Samma faktum kan betraktas som en styrka då variationen varit större närmare i tiden, vilket gynnar nuvärdet.

### ***Heureka***

Något bör nämnas om det som Heureka automatiskt medför till studien. Bestånden är framskrivna i femårsperioder vilket innebär en viss förlust i precision i beslutsfattande om vad som är optimalt. Problem kan uppstå särskilt i bestånd med höga ståndortsindex där skogen växer mycket på en sådan period. Femårsperioderna medför också trösklar i känslighetsanalysen i räntekrav. För att skillnaderna i räntekraven ska ge utslag i skogliga åtgärder måste optimala tidpunkter för gallringar och slutavverkningar flyttas tillräckligt mycket för att hamna i en annan femårsperiod.

Resultatet i delstudie 1 visade att gallringsstyrkan var nära eller lika med 30 % för alla typer av gallringar i alla alternativ, vilket antyder att detta kunde vara universellt optimalt. I en finsk studie visade dock författarna att optimal gallringsstyrka visst varierar med räntekravet (Hyytiäinen & Tahvonen 2002). Det är vidare orimligt med tanke på att nuvärdet (vars maximum var målsättningen med skötseln) påverkas av alla intäkter och utgifter. Den närmast konstanta gallringsstyrkan förklaras sannolikt med simuleringsteknikaliteter i Heureka. I studien angavs 20 respektive 40 % gallringsstyrka som nedre och övre gräns för att en gallringssimulering skulle tillåtas. Detta gällde i samtliga alternativ. Dessa parametrar reglerar dock inte hur gallringsstyrka varierar i simuleringen. Gallringsstyrka styrs istället av vilken gallringsmall som väljs, vilka har två höjd-, ståndorts- och trädslagvisa grundytetekurvor. När behandlingsenheten växer förbi den övre kurvan simuleras gallring och gallringsstyrkan bestäms av behandlingsenhetens grundytevisa avstånd ner till den nedre kurvan. Detta innebär att för ett bestånd med viss höjd, ståndort och trädslag (i studien var detta alltid tall) finns en förbestämd grundyta efter gallring som gallringen strävar mot. Gallringen tillåts så länge det resulterar i en gallringsstyrka som ligger mellan gränsvärdena ovan. På höga ståndorter kan den goda tillväxten inom en femårsperiod leda till högre gallringsstyrka men den effekten lär ha varit låg i denna studie där få bestånd hade ett SI över 30 m (H100). Om gallringsstyrkan inte varierar i tillfredsställande grad är det att betrakta som en klar svaghet för en gallringsundersökande studie.

Ytterligare en svaghet är antalet alternativa skötselprogram som simuleras fram för varje bestånd innan det bästa väljs. I studien sattes detta antal till 20. Det kan anses vara



hårklyveri att önska fler men faktum är att det är ännu en begränsning, om än en liten sådan. Allt detta sammantaget innebär att Heureka inte simulerar med perfekt mångfald för vad som är viktigt när gallring ska undersökas.

Vidare klarar Heureka inte att kvantifiera stokastiska händelser av betydelse för skogsbruket, t.ex. insektsangrepp och stormskador. Detta måste hanteras på andra sätt, som med begränsningar på vilken skogsskötsel som tillåts. I NYA definierades höjdgränser för när vilka höjder skog fick och inte fick gallras. De övriga alternativen hade emellertid inte det och resultatet bör läsas med detta i beaktning. Inte minst när gallringsmallarna i övriga alternativ utsatts för kritik på grund av de höga höjderna vid vilka gallring föreslås.

Det är inte helt lätt att utföra konsekvensanalyser av de traditionella gallringsmallarna. I SKS och ING gallrades ett bestånd så snart det växt förbi gränsen för rekommenderad gallring. Ett sådant schematiskt beteende verkställs knappast i praktiskt skogsbruk men det är nödvändigt att hantera problemet som uppstår när 5574 bestånd ska skötas med samma inställningar. Dessa linjer är dessutom approximativt översatta till matematiska funktioner i Heureka.

Grunddatat i delstudie 2 och 3 hämtades ur utdatat ur delstudie 1, vilket gör att Heurekas tillkortakommanden följer resultatet genom studien.

### ***Datamaterialet***

Bestandsdatat i studien hämtades från Riksskogstaxeringen. ”Bestånden” är i själva verket provytor med 7-10 meters radie (<0,04 ha) och i praktiskt skogsbruk tas beslut om gallring oftast i bestånd som är många gånger större. Det medför att variationen mellan provytorna är större än vad bestånd om tiotals hektar hade haft. Riksskogstaxeringens provytor är utlottade utan hänsyn till vilken typ av skogsskötsel som bedrivs i bestånden. Ska slutsatser om skogsskötsel med ekonomiska incitament dras bör beräkningarna utföras på skog som liknar den skog man ämnar applicera skötseln på. Det går inte att hävda att alla bestånden i studien har produktionsskogskaraktär och av denna anledning valdes delar av datat bort i vissa delstudier. Samtidigt kan skogar se mycket olika ut och faktumet att bestånden är hämtade ur verklighetens skogar ger datamaterialet legitimitet.

### ***Delstudie 2: Generella riktlinjer i de nya mallarna***

I delstudie 2 presenteras gallringstillfällen för NYA som punktsvärmar i förhållande till höjd och grundyta. Eftersom resultatet är en samling diagram för visuell avläsning kan inte resultatet diskuteras i detalj. Alltjämt kan några generella mönster som nämnts i resultat tillhörande delstudie 1 skönjas.

I NYA tvingades Heureka att utföra en första gallring mellan 10 och 14 m ÖH under förutsättning att 75 % av det ordinarie grundytekravet för Skogsstyrelsens gallringsmall uppnåddes. Vad man kan konstatera när man läser diagrammen (Figur 5-7 samt bilaga 2) är att förstagallring överlag utfördes i den senare halvan av detta höjdfönster, dvs över 12 m ÖH.

Vidare konstateras att främst i ståndortsklasser upp till T21-T22 utfördes ofta andragallring vid en lägre grundyta än förstagallringarna, om än bestånden givetvis hunnit växa på höjden. Det gällde för båda kalkylräntorna. Trenden avviker mot INGVARs och Skogsstyrelsens gallringsmallar, där man vid en högre beståndshöjd kräver en högre grundyta innan gallring rekommenderas.

För ståndortsklasser T19-T20 och högre gällde att skogen oftast gallrades två gånger innan slutavverkning. Eftersom maximalt antal tillåtna gallringar (2 st) utfördes i så gott som alla bestånd i det SI-intervallet leder det till misstanken om att det kan vara en begränsande (nuvärdessänkande) begränsning. För ståndortsklasserna T17-T18 och lägre var resultatet inte lika entydigt och allt fler bestånd gallrades bara en eller ingen gång ju lägre ner i ståndortsindex man granskar resultatet.

Gällande slutavverkning förefaller det inte som att NYA slutavverkade vid högre eller lägre trädhöjder än Skogsstyrelsens respektive INGVARs gallringsmallar rekommenderar. Skillnaderna i grundyta vid slutavverkning verkar skilja sig desto mer, vilket möjligen förklaras med annorlunda gallringar som resulterar i mindre uttag.

## **Svagheter i delstudie 2**

I delstudie 2 inkluderades bara bestånd som Heureka hade röjt, vilket kombinerat med den 100-åriga analysperioden ger följande nackdel. Bestånd vars nuvärdeoptimala tidpunkt för slutavverkning hamnar mer än 100 år efter tidpunkten för röjning exkluderas ur gallringsmallarna. Problemet är sannolikt större i alternativen med 1,5 % kalkylränta eftersom omloppstiden var längre här. Punktsvärmen för slutavverkningar i gallringsmallarna hade troligen haft fler datapunkter och att de tillkommande datapunkterna hade därtill systematiskt legat längre till höger i diagrammet än nuvarande svärm, om metoden varit annorlunda. Det var emellertid nödvändigt att hantera problemet med att undermåligt skötta bestånd i datamaterialet missfärgar vad man försöker förmedla som nuvärdesmässigt optimal skötsel givet begränsningarna.

## ***Delstudie 3: Gallringsmodellerna och dilemmat tröskelvärde***

Gemensamt för regressionerna var att variabeln "Tidigare gallring" inte hade en påverkan på responseventet gallring med statistisk signifikans ( $p$ -värde  $<0,05$ ), enligt Tabell 8 och Tabell 9. Det föranleder ett resonemang om att variabeln borde uteslutas ur gallringsmodellerna. Eftersom koefficienterna för oberoende variabler blev annorlunda vid olika värden för tidigare gallring tyder det dock på att inkludering av denna kategoriska oberoende variabel gör modellerna mer precisa.

Vad anbelangar de oberoende variabelernas koefficienter kan följande sägas - sannolikheten för gallring minskade med ökad grundytavägd medeldiameter och ålder. Det innebär att gallringsmodellerna föreslår gallring mer sällan i äldre bestånd med grövre dimensioner.

Skattad sannolikhet för gallring ökade istället med ökad grundytavägd medelhöjd. Detta gällde för båda modellerna. Modell 1 skattade också sannolikheten som ökande med högre grundyta, en variabel som inte inkluderades i modell 2.

En variabels påverkan på skattad sannolikhet för gallring kan förklaras med olika utgångspunkt. Den ena utgångspunkten är att hänvisa till datamaterialet, som hämtades från ett visst segment. Eftersom att endast gallringsbehöriga bestånd ingick i analyserna innebär det att bara bestånd som uppnått 10 m ÖH är med, vilket medför en viss ålder och dimension. På samma sätt finns det också en maxgräns för vilken övre höjd analysen avser, varför exempelvis ålderns sannolikhetshöjande effekt bara kan påstås gälla i 10-20 m ÖH (och i andra intervall i andra rymder som utgjorde inklusionskrav, som tidigare gallring och grundyta). Hur det ter sig i övriga segment vet vi inget om via föreliggande studie. Den andra utgångspunkten är att ur ett gallringsteoretiskt resonemang förklara en variabels påverkan på sannolikheten för gallring. Analyserna tillhörande modell 1 visade exempelvis

att en ökad grundyta ökade sannolikheten för gallring. Med tanke på att den rådande gallringsmallen (Skogsstyrelsens från 1984) föreslår gallring från och med en viss grundyta och alltid därefter är detta logiskt. Båda utgångspunkterna kan vara relevanta. Föreliggande studie kan dock inte ingående förklara respektive variabels påverkan på skattad sannolikhet för gallring.

Gallringsmodellernas beskaffenhet och dilemmat tillhörande tröskelvärde och precision måste förstås. För att mäta precisionen i modellerna var det nödvändigt att definiera vid vilka funktionsvärden varje modell ska föreslå gallring och när den ska rekommendera att avstå. Det enda sättet perfekt precision kan erhållas med den metoden är om bestånden med avseende på Heurekas gallring eller icke-gallring är perfekt separerade över funktionsvärdeskalan 0 till 1. Analyserna som utfördes i studien gav dock spridning av Heurekas gallring och icke gallring över funktionsvärdet och det är nu dilemmat om tröskelvärde uppstår.

Vad som måste göras är nämligen att definiera tröskelvärdet. Alltså ett bestämmande av vid vilket funktionsvärde gränsen ska ligga för modellens förslag om gallring respektive icke-gallring. En mall med högt tröskelvärde kan benämnas som konservativ då den inte kommer föreslå gallring lika ofta. Här kan man vara mer säker på att gångerna den föreslår gallring hade Heureka gjort samma sak. Baksidan av myntet blir att modellen i högre grad avråder från gallringar bör utföras enligt Heureka. På spegelvänt vis kan modellen göras offensiv genom att sänka tröskelvärdet. Då kommer det omvända att ske, nämligen att bestånd där modellen avråder gallring oftast stämmer överens med Heureka. Nackdelen i detta läge är att modellen föreslår gallringar som Heureka hade avstått ifrån. Vilken riktning (konservativ eller offensiv) man ska välja är inte självklart.

Vid ett eventuellt implementerande av denna typ av gallringsmodell kan dilemmat ovan hanteras. Istället för att låta modellens gallringsråd vara binärt ("gallra" eller "gallra inte") kan funktionsvärdet i sig vara rekommendationen. Anta att modellens funktionsvärde är 0,79. Vad gallringsmodellen kommunicerar till beslutsfattaren blir då att skattad sannolikhet för att Heureka hade gallrat beståndet är 79 %. Ett beslut (kanske i synet med annat skogligt kunnande) får sedan tas. Man kan argumentera för att det är ett mer nyanserat sätt att rekommendera gallring.

Fullständig precision (100 %) erhålls endast när gallringsmodellen (med avseende på funktionsvärde) fullständigt separerar bestånd som gallrades av Heureka från bestånd som inte gallrades. Vilken grad av perfekt separation som uppstod med studiens olika modeller på olika alternativ kan delvis skönjas i Figur 8. Kurvan "träffade gallringar" avslöjar hur Heurekas gallringar är fördelade över funktionsvärdeskalan. Faktumet att modell 1 hade en brantare lutning på den kurvan vid en punkt som närmare 1 är en delförklaring till att modell 1 uppnådde högre precision än modell 2. Det fanns helt enkelt en tydligare och skiljelinje vid ett högre funktionsvärde som separerade bestånd som Heureka gallrade och inte gallrade. Tack vare detta kunde tröskelvärdet höjas medan precisionen kvarstod relativt hög.

### **Svagheter i delstudie 3**

Ett relativt litet dataunderlag användes för regressionen. Brukligt är att använda en större del till analysen och att testa modellen på den återstående mindre delen data. Detta testades i studien men på grund av det statistiska fenomenet kvasikomplett separering kunde inte analysen genomföras. Datat fick minskas och samma storlek på datat tilläts inte för de två olika analyserna.

Gallringsmodellerna uppvisade en precision mellan 79 och 87 %. Siffran avser dock bara precision på de gallringsbehöriga bestånden. Med enkelhet erhålls 100 % precision på övriga bestånd eftersom att dessa inte kan ha gallrats med tanke på TPG-inställningarna. Vid programmering av en applikation eller liknande kan man i händelse av liknande skötselrekommendationer konfigurera gallringsmodellen att avråda från gallring om beståndet inte uppfyller grundläggande krav för att gallras.

Med inklusionskraven medföljer andra aspekter. Eftersom segmentet bestånd som var gallringsbehöriga börjar vid 10 m och slutar vid 20 m ÖH måste detta beaktas när man tolkar modellen. Gallringsbehörighet beror också på grundyta, tidigare gallringar och ståndortsindex. Det innebär exempelvis att påståendet ”ökad grundytevägd medelhöjd gav ökad skattad sannolikheten för gallring” bara gäller i ett segment av bestånd som apropå övre höjd börjar vid 10 m och slutar vid 20 m.

En svaghet med modell 2 är följande - de variabler som inkluderades var grundytevägd medeldiameter och -höjd, ålder, ståndortsindex och tidigare gallring. Utför man en gallring med gallringskvot 1, det vill säga att man inte förändrar beståndets tillstånd med avseende på trädens diameter, kan variabeln ”tidigare gallring” vara den enda som förändras i och med gallringen. Beståndshistoriken blir då mycket viktig för att skatta gallringssannolikhet och det kan i vissa sammanhang vara en svaghet. Det talar för att inkludera variabler som med större säkerhet förändras vid gallring, som grundyta eller volym.

Modellernas precision redovisades. Det är ett abstrakt begrepp som kan vara svårt att förklara och intuitivt förstå. Studien behandlade heller inte vilken precision INGVARs och Skogsstyrelsens gallringsmallar hade gett på samma data. Det hade varit intressant för att visa på modellernas precision jämfört med andra stöd för gallringsbeslut.

Hur bör tröskelvärde väljas? I studien valdes det värde som gav högst precision, alltså bäst överensstämmelse med Heureka. Man kan tänka sig lägen där man vill vara mer ivrig att föreslå gallring. Då bör man sänka tröskelvärde, med bekostnad av precision. På samma sätt kan man kräva ett mycket högt funktionsvärde innan mallen tillåts föreslå gallring.

Om ett av syftena med en gallringsmall eller -modell är att underlätta kommunikation mellan sakkunnig och skogsägare kan gallringsmodellerna vara problematiska. Skogsbranschen har samlats runt att tala om grundyta, övre höjd och ibland stamantal under en längre period. Möjligen är det svårt att intuitivt tolka vad funktionsvärdet 0,88 säger om ett bestånd. Undertecknad vidhåller alltså att en sjudimensionell beskrivning av ett skogsbestånd bör kunna underbygga beslutet om gallring bättre än en tvådimensionell dito. Vid tillämpning vore det nödvändigt att redogöra för hur modellen fungerar och hur den kan beakta många dimensioner. Modellen kan liknas vid en ”tratt” där många beaktade skogliga variabler går in och ut trillar en (exempelvis) 88 % sannolikhet för att det bästa skogliga beslutsstödsystemet hade gallrat. Man bör inte omedelbart avfärda möjligheten att det budskapet kan tala ett tydligare språk än att si eller så mycket grundyta i förhållande till övre höjden talar för det ena eller det andra gallringsbehovet.

### ***Gallringsmallars komplexitet och begriplighet***

En gallringsmall kapabel att visa på det optimala handlingsalternativet i alla lägen vore mycket komplex. Den måste ta i beaktning alla de nyttor markägaren är intresserad av, kvantifiera dessa så att jämförelser är möjliga samt innehålla modeller för produktion av dessa nyttor. Det närmaste man kommer ovanstående är Heureka. Heureka kan dock inte

presenteras som Skogsstyrelsens gallringsmall eftersom att dessa ska kunna tolkas av många, inte bara den skogliga expertisen och här finns ett dilemma. Begripligheten minskar vid ökad komplexitet men ett beslutsstöd som är alltför förenklad riskerar att ge undermåliga rekommendationer. I och med INGVAR togs ett steg i riktningen mot ett mer adaptivt stöd för gallringsbeslut då användaren tilläts ställa in vilken grad av risk man är villig att ta. Detta översattes i att rekommendation om gallring ges vid olika beståndshöjder. Principen att användaren väljer mellan vissa risktoleranser, räntekrav, rangordningar av nyttor etc. kan övervägas vid utformandet av morgondagens gallringsmall. I takt med att teknik tillgänglig för alla utvecklas bör gallringsmallar omprövas. Förhoppningsvis kan föreliggande studies alternativa gallringsmall bredda perspektivet på möjliga lösningar på problemet.

### ***Vidare studier***

Forskningen behöver fortsätta utmana uppfattningar om gallring. Om vidare studier utförs med Heurekas hjälp behövs metodologi som i högre grad frigör studien från programmets svagheter. Framförallt variation i gallringsstyrka och gallringstidpunkt behöver varieras för att beslut om gallring ska leda närmare vad som är optimalt givet målsättningen.

### **Slutsatser**

Studien syftade till tre saker. För det första skulle olika stöd för gallringsbeslut jämföras främst med avseende på nuvärde vid två olika räntekrav. Resultatet indikerar att Skogsstyrelsens och INGVARs gallringsmallar leder till ett nuvärdesmässigt sämre skogsbruk jämfört med ett nuvärdesoptimerat alternativ utformat efter Skogsstyrelsens skötselrekommendationer idag. Det sistnämnda alternativet skötte dessutom skogen på ett sätt som kan förmodas ge lägre risk för skador.

För det andra skulle nya gallringsmallar framställas, i ett utförande som liknar Skogsstyrelsens gallringsmallar från 1984 och baserade på en nuvärdesoptimerad skogsskötsel med Skogsstyrelsens skötselrekommendationer som ramverk. Så gjordes och vissa skillnader mot andra stöd för gallringsbeslut kan skönjas i figurerna.

För det tredje skulle ett förslag på alternativ typ av gallringsmall utformas via logistisk regression. De så kallade gallringsmodellerna gallrade i enlighet med Heureka i upp till 87 %-ig utsträckning. Hur gångbara gallringsmodeller av denna typ kan vara i praktiskt skogsbruk behöver utvärderas vidare. Författaren till föreliggande studie hoppas att gallringsmodellerna kan vidga perspektivet på vilken typ av stöd för gallringsbeslut som är möjlig.

# Litteraturförteckning

## *Publicerat material*

- Agestam, E. (2009) *Skogsskötselserien, Gallring*, vol 7. Jönköping: Skogsstyrelsen
- Andersson, E. & Åkerblom Andersson, M. (2012) *En Undersökning Av Bergvik Skogs Och Skogsstyrelsens Gallringsmallar Mot En Gallringsoptimering På Simulerade Typbestånd = A Study of Bergvik Skog's and Swedish Forest Agency's Thinning Models in Relation to a Thinning Optimization on Simulated Stands*. Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet. Kandidatarbete 2012:3
- Anon. (2015-05-27) *New Mortality Model* Tillgänglig:  
<[http://heurekaslu.org/wiki/Version\\_2.0.0#New\\_mortality\\_model](http://heurekaslu.org/wiki/Version_2.0.0#New_mortality_model)> [2015-09-30]
- Anon. (2013-02-20) *Kunskap Direkt: Minimiålder* Tillgänglig:  
<http://www.kunskapdirekt.se/sv/KunskapDirekt/Avverka/Grunder/Skogsvardslagen/Minimialder/> [2016-01-29]
- Anon. (2012-11-23) *Kunskap Direkt - Risker Med Gallring* Tillgänglig:  
<http://www.kunskapdirekt.se/sv/kunskapdirekt/Gallra/Gallringens-grunder/Risker-med-gallring/> [2016-04-17]
- Anon. (2010-05-10) *Riksskogstaxeringen: Om Inventeringen* Tillgänglig:  
<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/om-inventeringen/inventeringens-design/> [2016-01-16]
- Anon. (2016-04-13) *What Are Complete Separation and Quasi-Complete Separation?* Tillgänglig: <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/logistic-regression/what-are-complete-separation-and-quasi-complete-separation/> [2016-04-18]
- Bengtsson, G. (1978) Beräkning Av Den Naturliga Avgången I Avverkningsberäkningarna För 1973 års Skogsutrednings Slutbetänkande. *Skog för framtid*, vol. 7, bil. 6
- Bergquist, J., Edlund, S., Fries, C., Gunnarsson, S., Hazell, P., Karlsson, L., Lomander, A., Nästlund, B.-Å., Rosell, S., & Stendahl, J. (2016) *Kunskapsplattform För Skogsproduktion*. Skogsstyrelsens meddelande vol. 1 2016. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag
- Bernes, C. & Naylor, M. (1991). *Acidification and Liming of Swedish Freshwaters*. 12 uppl. Solna: Statens naturvårdsverk
- Chang, S.J. (1983). *Rotation Age, Management Intensity, and the Economic Factors of Timber Production: Do Changes in Stumpage Price, Interest Rate, Regeneration Cost, and Forest Taxation Matter?* Forest Science 29:2
- Ekö, M. (1985) *En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter, vol 16.

- Ekvall, H. och Bostedt, G. (2009) *Skogsskötselserien, Skogsskötselns ekonomi*. vol. 18, Jönköping: Skogsstyrelsen
- Elfving, B. & Tegnhammar, L. (1996) Trends of Tree Growth in Swedish Forests 1953-1992: An Analysis Based on Sample Trees from the National Forest Inventory. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1996, vol. 11 (1).
- Elfving, B. (2010-02-05) *Growth Modelling in the Heureka System* Tillgänglig: <[http://heurekaslu.org/mw/images/9/93/Heureka\\_prognossystem\\_%28Elfving\\_rapportutkast%29.pdf](http://heurekaslu.org/mw/images/9/93/Heureka_prognossystem_%28Elfving_rapportutkast%29.pdf)> [2015-09-30]
- Faustmann, M. (1995) Calculation of the Value Which Forest Land and Immature Stands Possess for Forestry (Återpublikation av originalartikel från 1849). *Journal of Forest Economics*, vol. 1.
- Fridman, J. & Ståhl, G. (2001) A Three-Step Approach for Modelling Tree Mortality in Swedish Forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2001. vol. 16 (5)
- Fries, C., Bergquist, J., & Wikström, P. (2015) *Lägsta ålder För Föryngringsavverkning (LÅF) – En Analys Av Följder Av Att Sänka åldrarna I Norra Sverige till Samma Nivå Som I Södra Sverige*. Skogsstyrelsens rapport vol. 6 2015. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag
- Holmberg, L.-E. (2005) *Skogshistoria från år till år 1177-2005*. Skogsstyrelsens rapport vol. 5 2005. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag
- Hyytiäinen, K. & Tahvonen, O. (2002) Economics of Forest Thinnings and Rotation Periods for Finnish Conifer Cultures. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2002, vol. 17 (3).
- Jacobsson, S., Pettersson, F., Sikström, U., Nyström, K., och Övergaard, B. (2008) INGVAR - Gallringsmall och planeringsinstrument. *Resultat från SkogForsk* 2008 vol. 10
- Jonsson, B. (1974) *The Thinning Response of Scots Pine (Pinus Silvestris) in Northern Sweden*. Stockholm: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser, vol. 28
- Jonsson, B. (1980) *Funktioner för långsiktiga prognoser beträffande virkesförrådets storlek och sammansättning*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning. Rapport, vol. 7
- Näslund, B. (1969) Optimal Rotation and Thinning. *Forest Science*, vol. 15 (4)
- Persson, P. (1972) *Vind- och snöskadors samband med beståndsbehandlingen: inventering av yngre gallringsförsök = Stand treatment and damage by wind and snow : survey of younger thinning experiments*. Stockholm: Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser, vol 23.
- Persson, P. (1975) *Stormskador på skog: uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder = Windthrow in forests : it's causes and the effect of forestry measures*.

Stockholm: Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser, vol. 36.

Quine, C.P. (1995) *Forests and Wind: Management to Minimise Damage*. London: HMSO  
Forestry Commission bulletin, vol. 114.

Rosen, K. (1992) *Nitrogen Enrichment of Nordic Forest Ecosystems. The Concept of Critical Loads*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig marklära. Ambio Aug 1992, vol. 21 (3)

Rosvall, O., Andersson, B., Högberg, K-A., Stener, L-G., Jansson, G., Almqvist, C. och Westin, J. (2010). *Skogsskötselserien, Skogsträdsförädling*. vol. 19, Jönköping: Skogsstyrelsen

Schreuder, G.F. (1971) The Simultaneous Determination of Optimal Thinning Schedule and Rotation for an Even-Aged Forest. *Forest Science*, vol. 17 (3)

Skogsstyrelsen (1985) *Gallringsmallar Norra Sverige*. Uppl. 11. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag

Skogsstyrelsen (2014) *Skogsstatistisk årsbok 2014*. Jönköping: Skogsstyrelsen

Skogsstyrelsen (2011) *Skogsstyrelsens Föreskrifter Och Allmänna Råd*. Jönköping: Skogsstyrelsen

Skogsstyrelsen (2010-06-08) *Skogsstyrelsen: Skogsvårdslagen Tillgänglig*:  
<http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Lagen/Skogsvardslagen/> [2015-09-11]

Skogsvårdsförordningen (1993). Stockholm. (SFS 1993:1096)

Skogsvårdslag (1979). Stockholm. (SFS 1979:429)

Söderberg, U. (1986) *Funktioner för skogliga produktionsprognoser : tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag i Sverige*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport, vol 14.

Sveriges Skogsvårdsförbund och Tekniska nomenklaturcentralen. (1994). *Skogsordlista*. Västervik. Tekniska nomenklaturcentralen och Sveriges Skogsvårdsförbund.

### ***Icke publicerat material***

Näslund, Bert-Åke. Personlig kontakt. 2015-08-27.  
Jacobsson, Staffan. Personlig kontakt. 2015-08-27.

### ***Bildkällor***

Figur 2: <http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/sha/heureka/regwise/> [2016-04-19].



## Bilagor

### *Bilaga 1. Domänindelning och TPG-inställningar*

Bilagan innehåller domänindelning och de TPG-inställningar som var alternativspecifika och eller standardavvikande. De redogörs för i tabellerna nedan.

Domänindelningen kan ses i Tabell 11. Domänen ”Other” innehöll alla bestånd som inte uppfyllde alla kraven för någon av de andra domänerna. Denna domän exkluderades från analyserna.

**Tabell 11.** Domänindelning. Ett bestånd måste fylla samtliga krav för en domän för att höra dit. Samma domäninledning användes för alla alternativ. Andel tall avser hur stor andel av ett bestånds grundyta (m<sup>2</sup>/ha) som utgjordes av tall.

		Domännamn				S	
		<b>T15- 18</b>	<b>T19- 22</b>	<b>T23- 26</b>	<b>=&gt;T27</b>	<b>Norrland</b>	<b>Other</b>
Andel tall	=>70 %	d/o	d/o	d/o	d/o	d/o	-
Ståndortsindex	<=14	15-18	19-22	23-26	=>T27	-	-
Länskod	AC/BD/Z/Y	d/o	d/o	d/o	d/o	X/W/S	-

Som tidigare nämnts justerades lägsta åldrar för slutavverkning (LSÅ). Detta gjordes ståndortsindexspecifikt enligt Tabell 12.

**Tabell 12.** Justering av lägsta ålder för slutavverkning (LSÅ). Åldersgränsen ändrades inte för domänen ”Tall S Norrland” eftersom ingen ändring är föreslagen i dessa län.

Alla alternativ	Lagstiftad LSÅ (år)	LSÅ i studien (år)
<b>Domän</b>		
<=T14	100	90
T15-T18	90	80
T19-T22	80	70
T23-T26	70	65
=>T27	65	60
Tall S Norrland		Ej justerad

Alla alternativ tilldelades en gallringsmall, vilket ses i Tabell 13. Alternativ SKS och 2 tilldelades den gallringsmall som konsekvensanalysen skulle följa, det vill säga Skogsstyrelsens respektive INGVARs gallringsmall. I NYA och 4 användes Skogsstyrelsens gallringsmall.

**Tabell 13.** Gallringsmallar. Tabellen visar vilken gallringsmall som användes i vilket alternativ.

Alternativ	SKS	ING	NYA	REF
Alla domäner	Skogsstyrelsen 1984	Ingvar	Skogsstyrelsen 1984	Skogsstyrelsen 1984

Heureka kan tillåtas att avvakta med gallring från och med att rådande gallringsmall tillåter det. I NYA och 4 bör Heureka apor på detta ges stort handlingsutrymme och förskjutning

tilläts med upp till 5 perioder enligt Tabell 14. I alternativ SKS och 2 var syftet att gallra omedelbart när gallringsmallen föreslår detta, varför parametern sattes till 0.

**Tabell 14.** *Thinning Period Delay Max. Det antal perioder som Heureka tilläts förskjuta gallring med i simuleringen efter att rådande mall tillåtit gallring för första gången. Periodlängden är 5 år.*

Alternativ	1	2	3	4
Alla domäner	0	0	5	5

En orsak till varför Skogsstyrelsen vill revidera sina gallringsmallar är att mallarna från 1984 föreslår gallring vid vad man anser är felaktiga höjder. Skogsstyrelsens rekommendation är att gallra första gången vid 10-14m ÖH och aldrig efter 20m. Detta implementerades i NYA genom att justera gallringshöjder enligt Tabell 15. I övriga alternativ sattes gallringsgränser som i praktiken inte utgör några begränsningar.

**Tabell 15.** *Gallringshöjder. Höjdgränser (övre höjd) för när gallring ska tillåtas i simuleringarna. Respektive alternativspecifika värde användes för samtliga domäner i alternativet.*

Alternativ	1	2	3	4
Min höjd första gallring (m)	1	1	10	1
Max höjd första gallring (m)	100	100	14	100
Max höjd all gallring (m)	100	100	20	100

Gemensamt för alla alternativ är hur Heureka valde gallringsstammar. Detta styrdes genom en uttagsalgoritm som i Heureka heter "LOEriksson". TPG ställdes in för att efter gallring lämna bestånd vars grundyta innehåller 90 % tall, 5 % gran och 5 % löv, enligt Tabell 16. På så vis möts Skogsstyrelsens mål om att inte lämna monokulturer efter gallring. Relativ diameter var för alla gallringar i alla domäner i alla alternativ 0,95. Relativ diameter är en kvot där de utgallrade trädens medeldiameter divideras med trädens medeldiameter innan gallring. Att värdet är mindre än och nära noll visar en svag styrning mot att gallra bort stammar med klenare dimensioner. (Notera att detta inte är detsamma som Skogsstyrelsens definition för gallringskvot, om än de är snarlika).

**Tabell 16.** *Uttagsalgoritm. Algoritmen "LOEriksson" användes. Trädslagsandel visar vilken andel av beståndets grundyta som utgörs av trädslagets grundyta efter gallring. Relativ diameter beräknas som utgallrade träds medeldiameter dividerat med de kvarlämnade trädens medeldiameter.*

Trädslag	Tall	Gran	Löv
Prioritet	1	2	3
Trädslagsandel efter gallring	90 %	5 %	5 %
Relativ diameter	0,95	0,95	0,95

Skogsstyrelsen vill att två gallringar ska vara maximum under en omloppstid i de nya gallringsmallarna. I övriga alternativ implementerades i praktiken inga sådana begränsningar, då gallring fick utföras upp till 10 gånger vilket kan ses i Tabell 17. I alternativ SKS och 2 gjordes så för att ett bestånds gallrande bara skulle bero på hur det

förhöll sig till grundYTEKURVAN i gallringsmallen. I REF fick detsamma råda för att handlingsutrymmet överlag skulle vara så stort som möjligt.

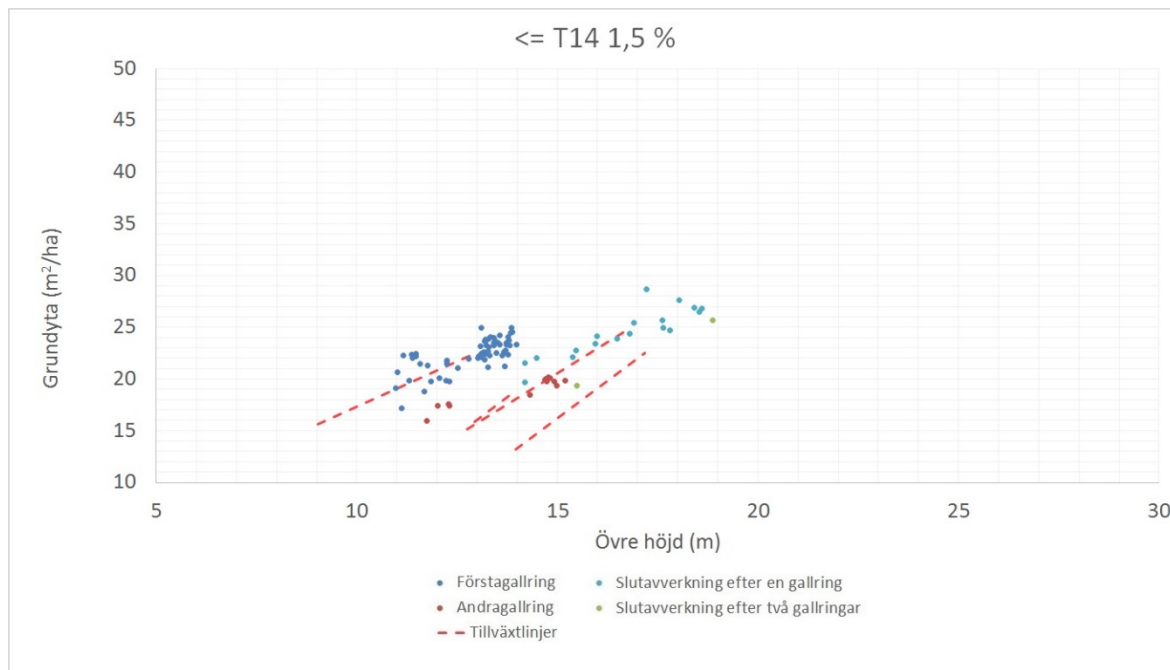
**Tabell 17.** *Maximalt antal gallringar. För att låta Heureka följa respektive gallringsmall som användes i alternativ SKS, 2 och 4 sattes ett mycket högt antal gallringar (10) som begränsning i dessa alternativ. Maximalt 2 gallringar sattes i NYA för att följa Skogsstyrelsens skötselrekommendation.*

Alternativ	1	2	3	4
Alla domäner	10	10	10	2

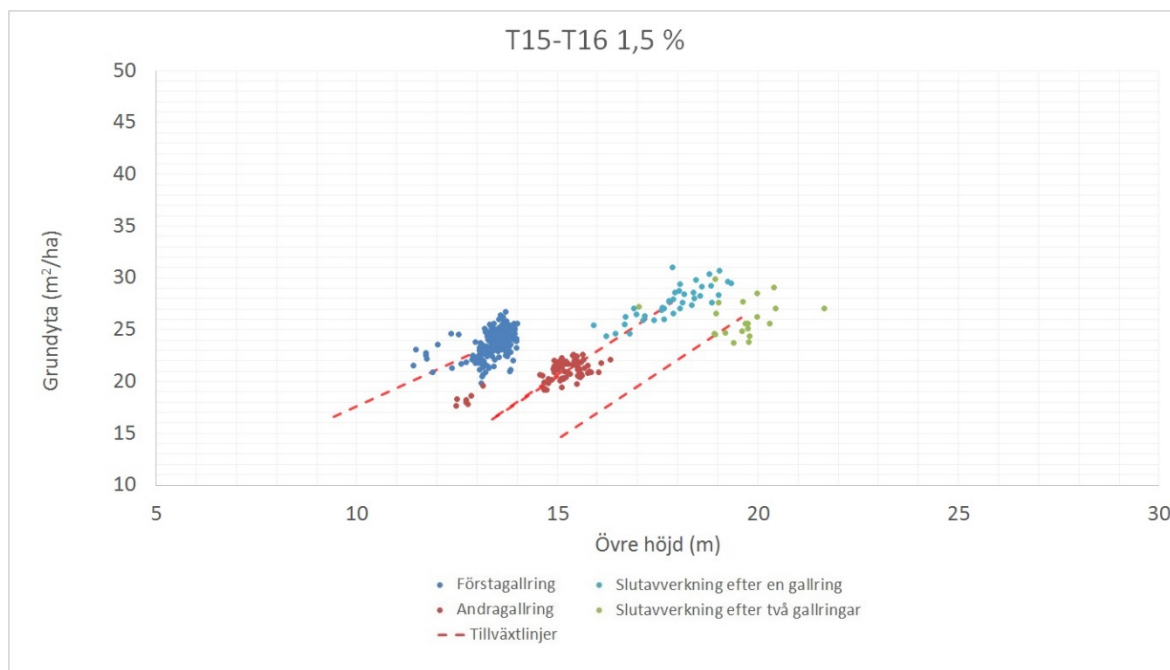
## Bilaga 2. Gallringsmallar från delstudie 2

### Gallringsmallar för räntekrav 1,5 %

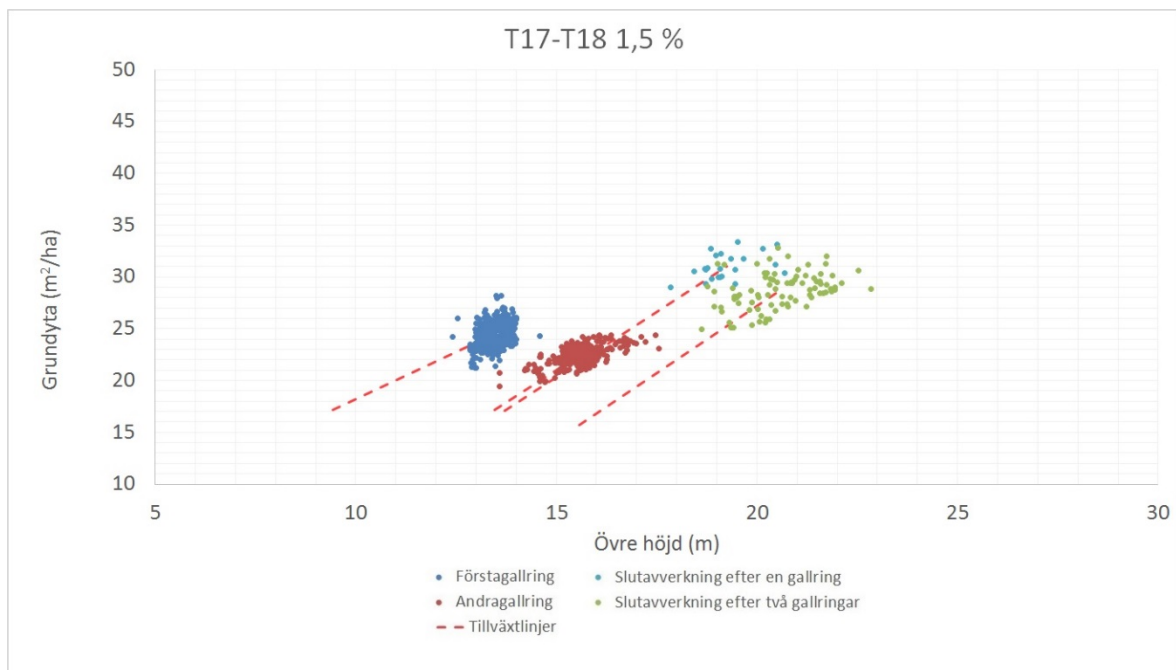
Figur 9 till Figur 16 utgör gallringsmallar framställda med 1,5 % kalkylränta. En typ av åtgärd som förekommer bara i vissa gallringsmallar är ”Slutavverkning efter en gallring” som finns med i Figur 9 till Figur 11.



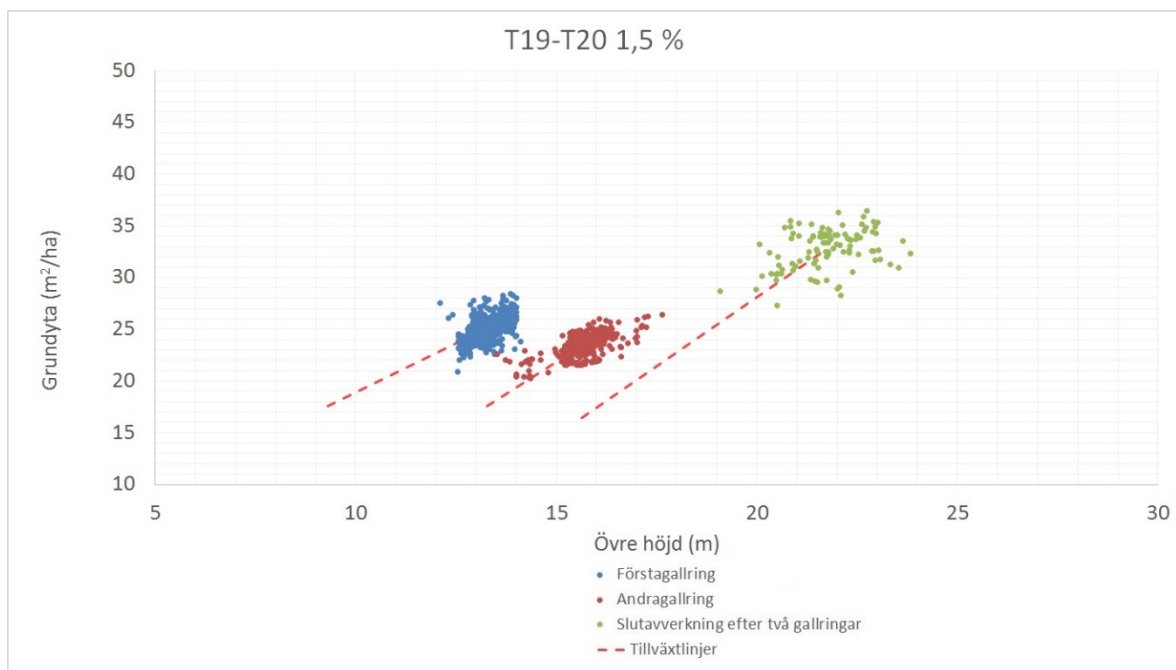
Figur 9. Gallringsmall <= T14 1,5 %



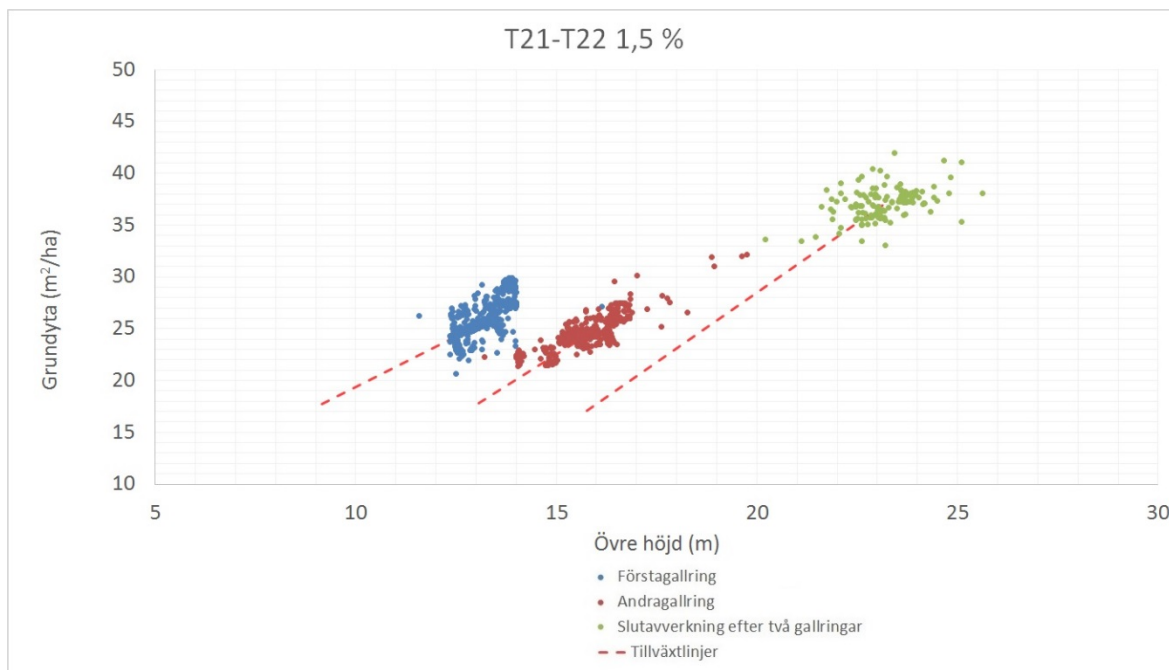
Figur 10. Gallringsmall T15-T16 1,5 %



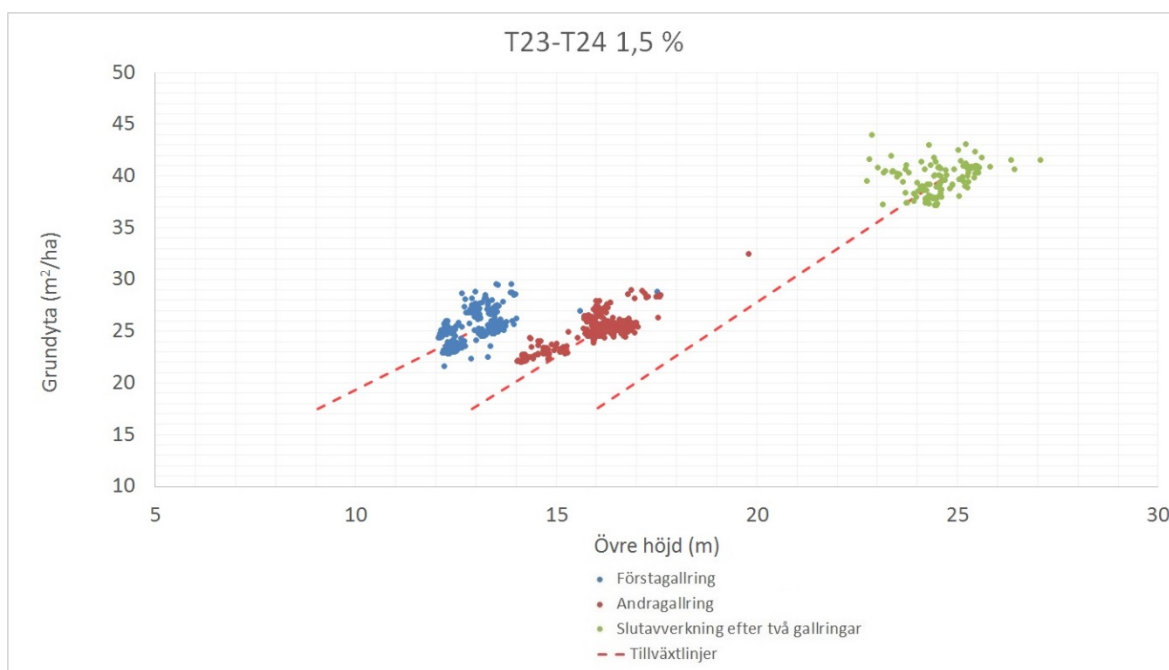
**Figur 11.** Gallringsmall T17-T18 1,5 %



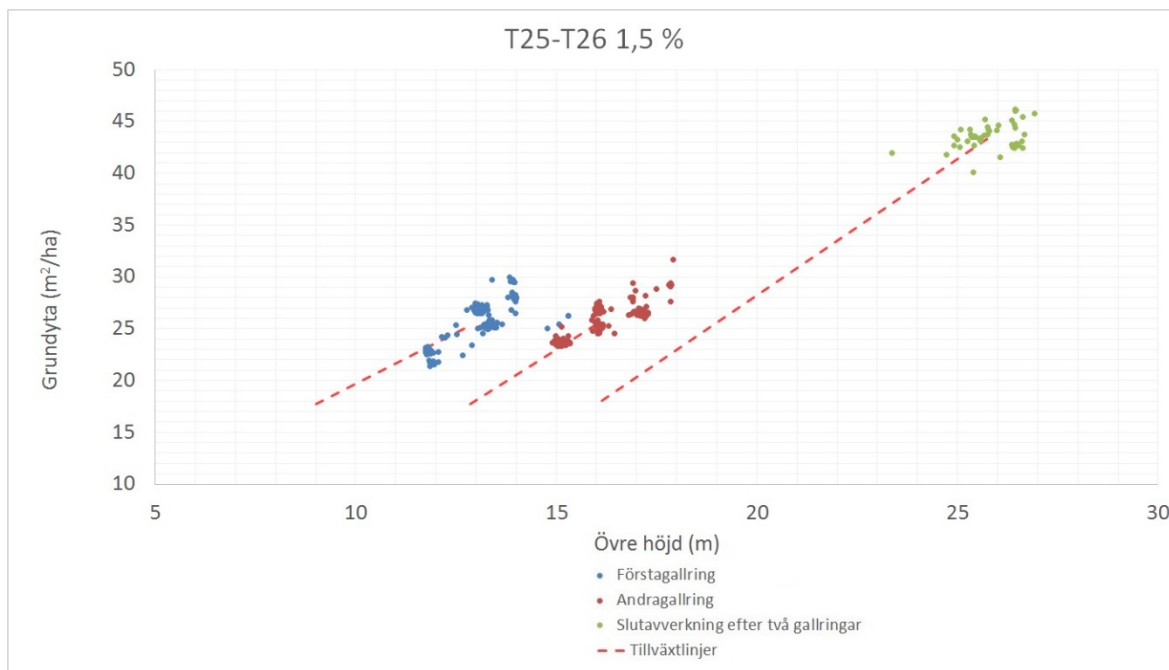
**Figur 12.** Gallringsmall T19-T20 1,5 %



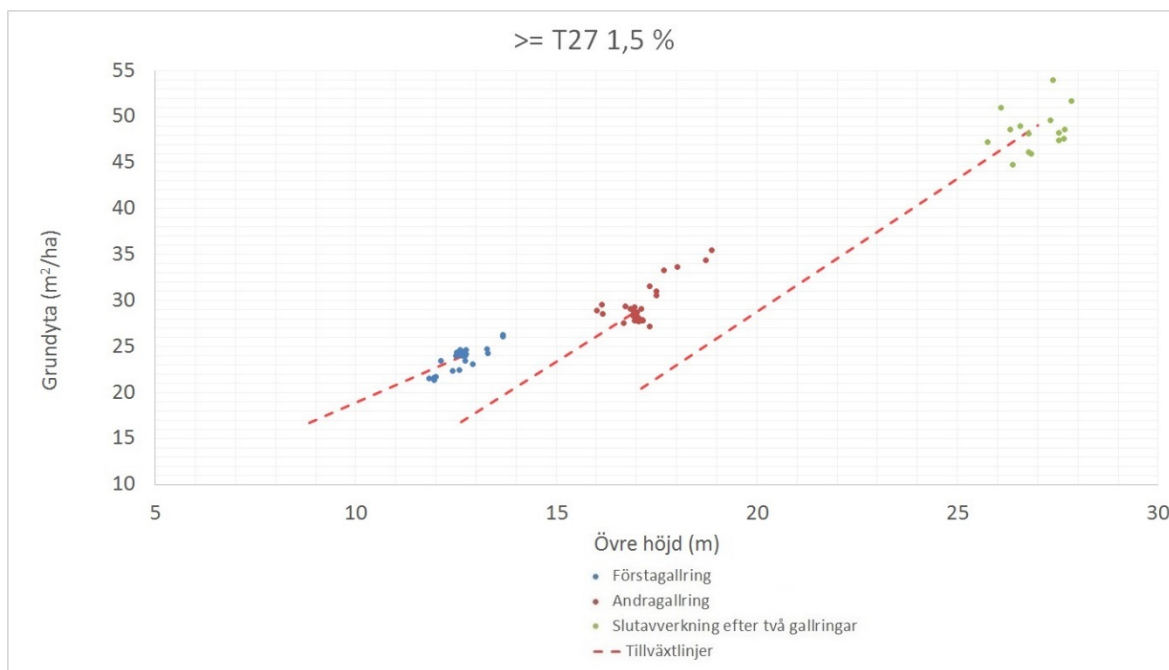
**Figur 13.** Gallringsmall T21-T22 1,5 %



**Figur 14.** Gallringsmall T23-T24 1,5 %



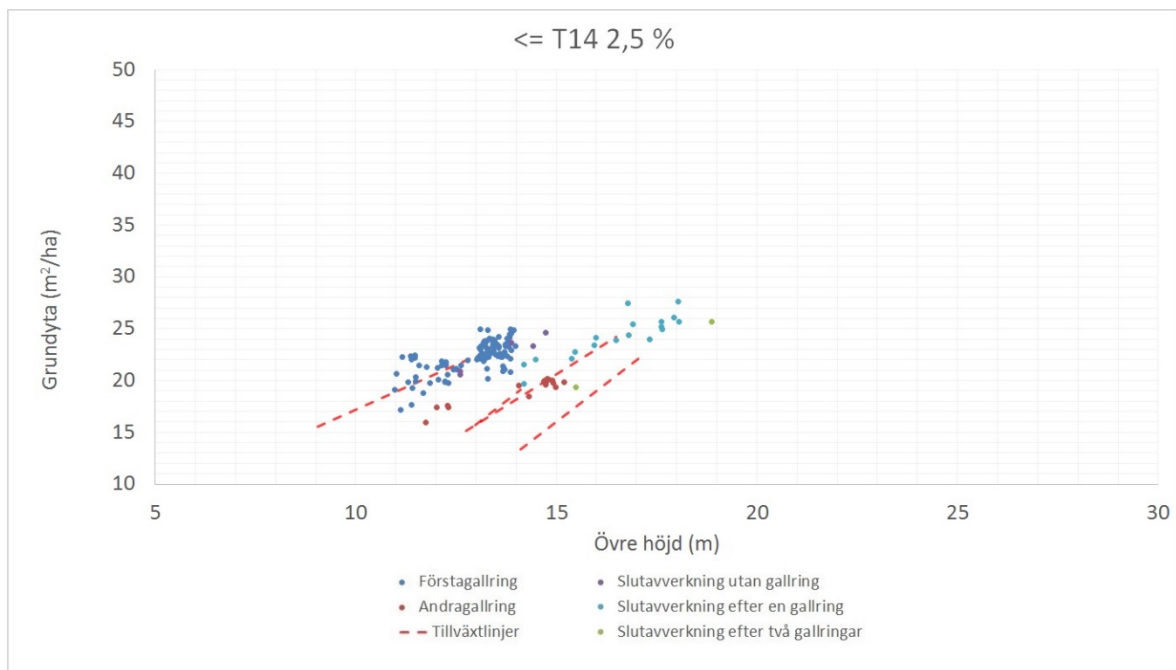
**Figur 15.** Gallringsmall T25-T26 1,5 %



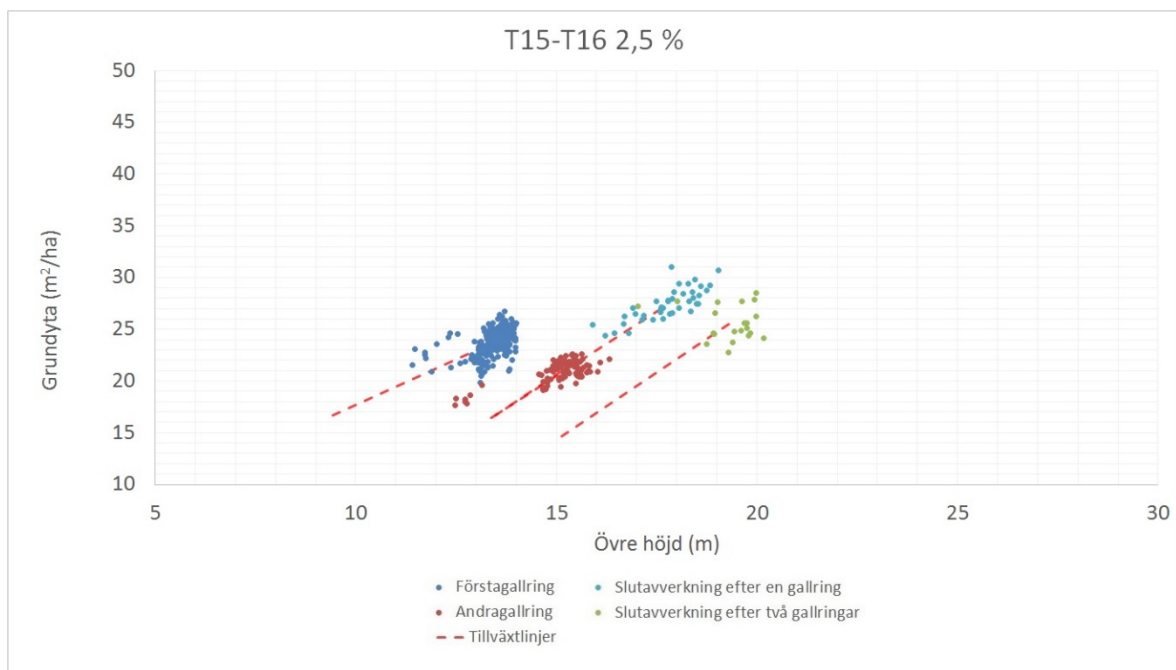
**Figur 16.** Gallringsmall >= T27 1,5 %

### Gallringsmallar för räntekrav 2,5 %

Figur 17 till Figur 24 utgör gallringsmallar framställda med 2,5 % kalkylränta. En typ av åtgärd som förekommer bara i vissa gallringsmallar är "Slutavverkning utan gallring" som finns i Figur 17 samt "Slutavverkning efter en gallring" i figur Figur 17 till Figur 19.

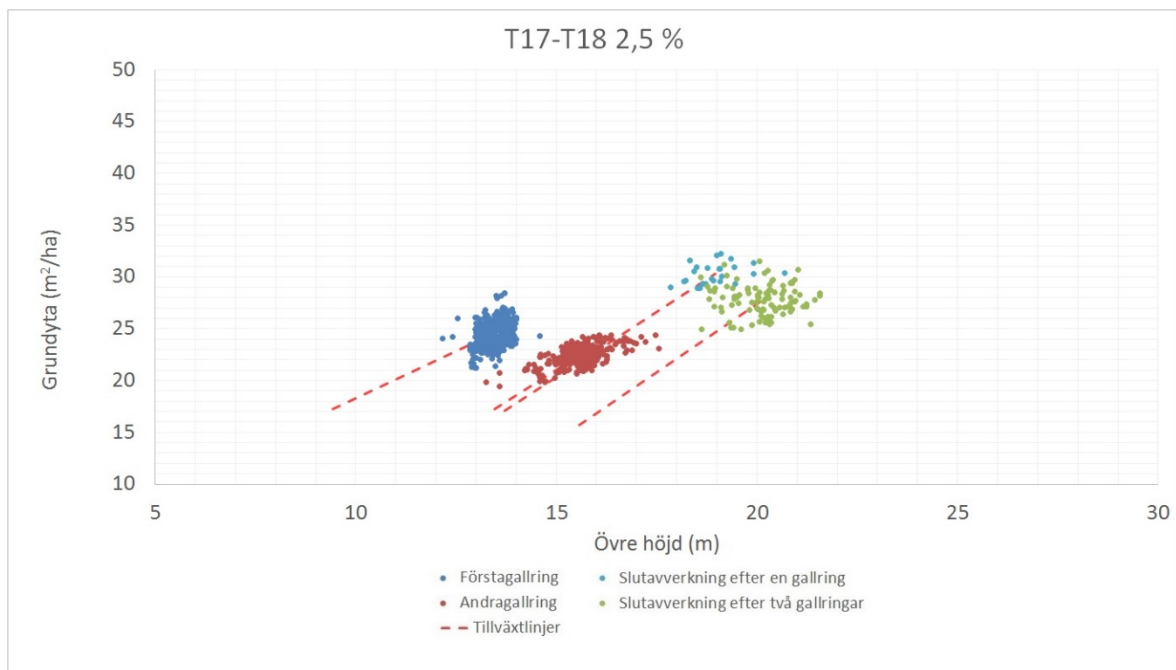


**Figur 17.** Gallringsmall <= T14 2,5 %

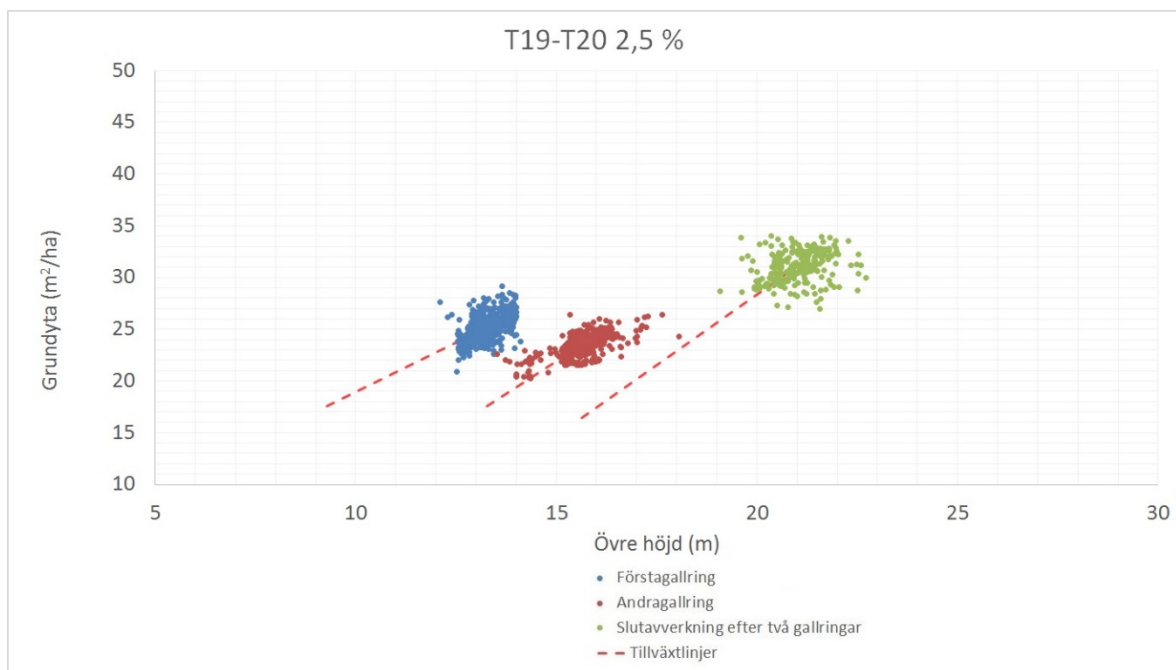


**Figur 18.** Gallringsmall T15-T16 2,5 %

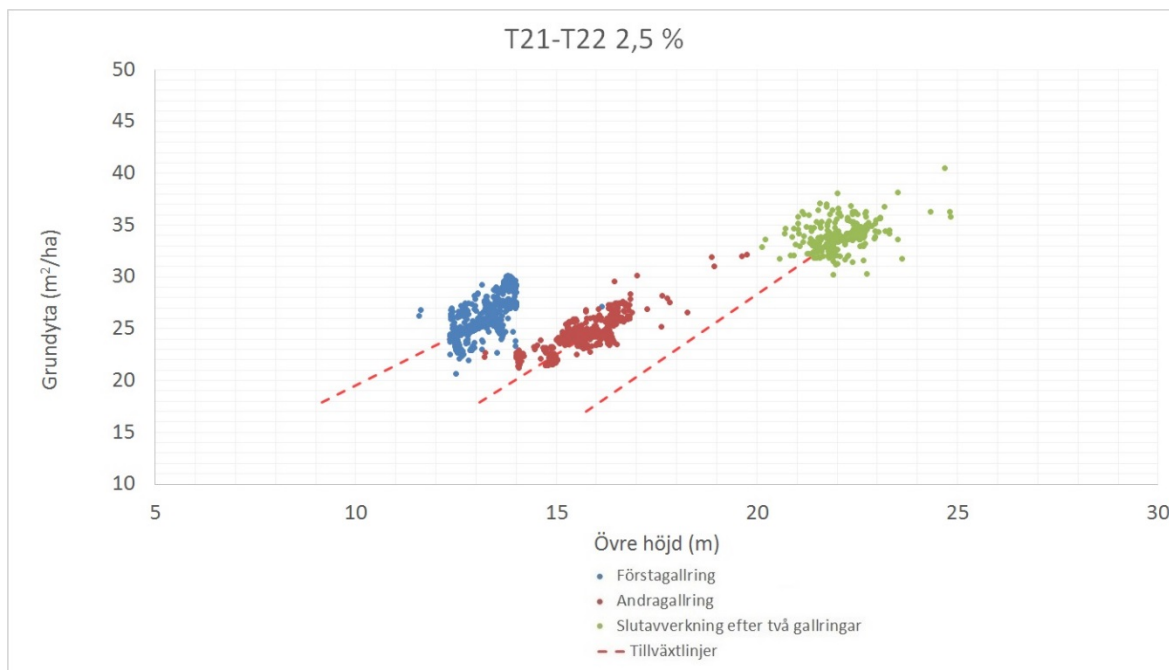




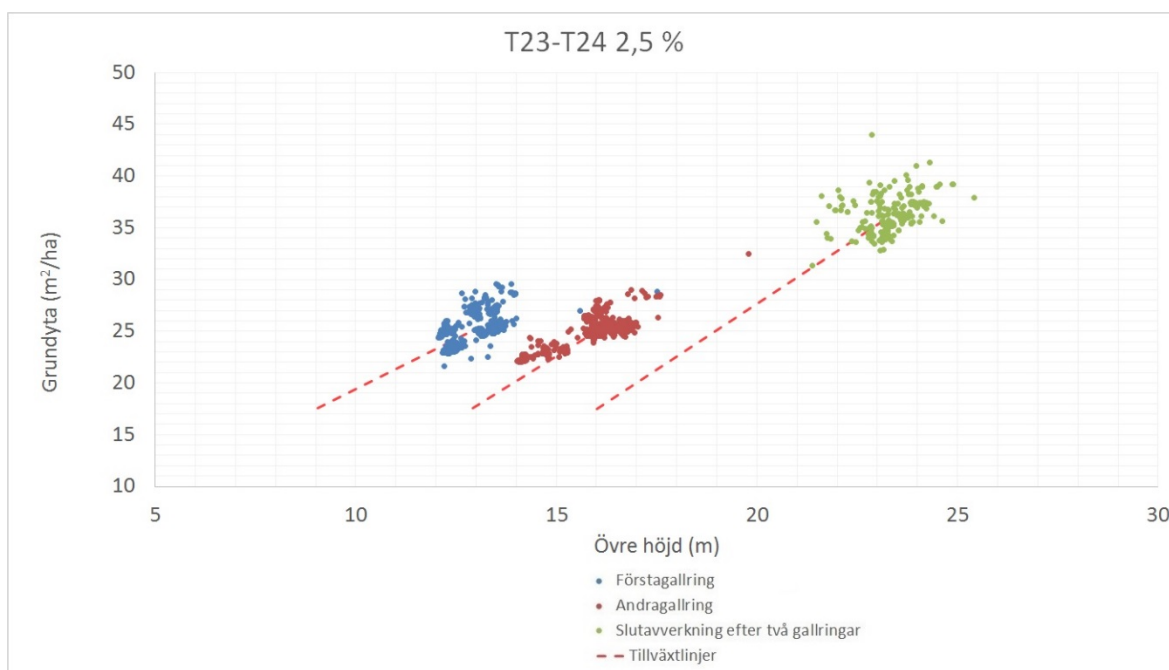
**Figur 19.** Gallringsmall T17-T18 2,5 %



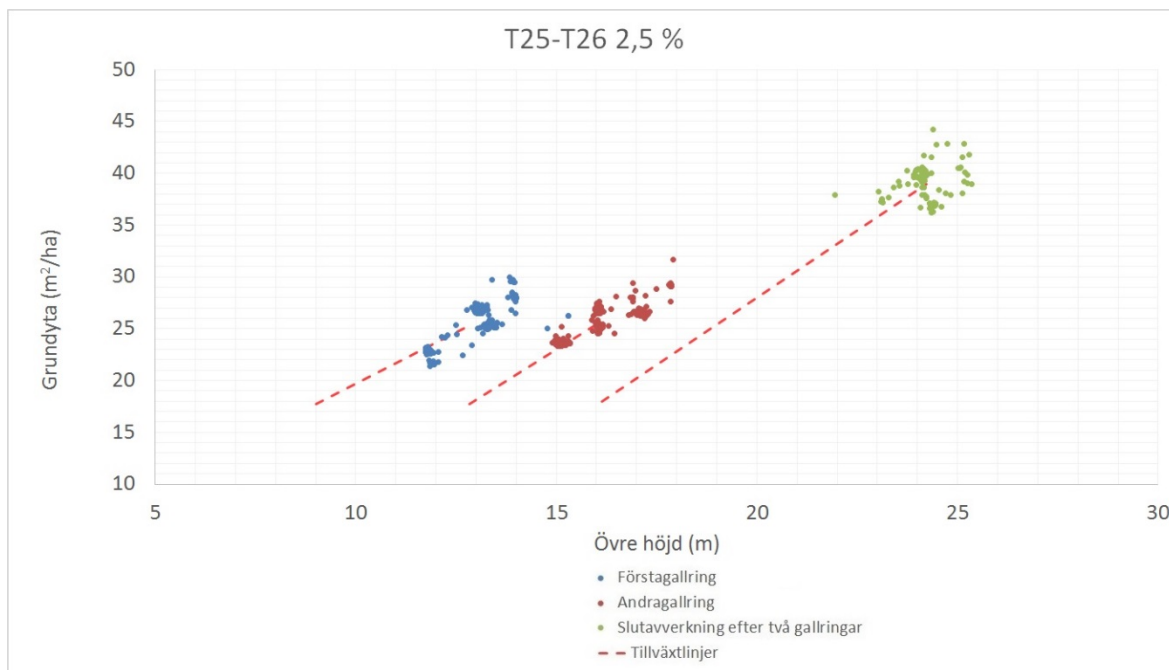
**Figur 20.** Gallringsmall T19-T20 2,5 %



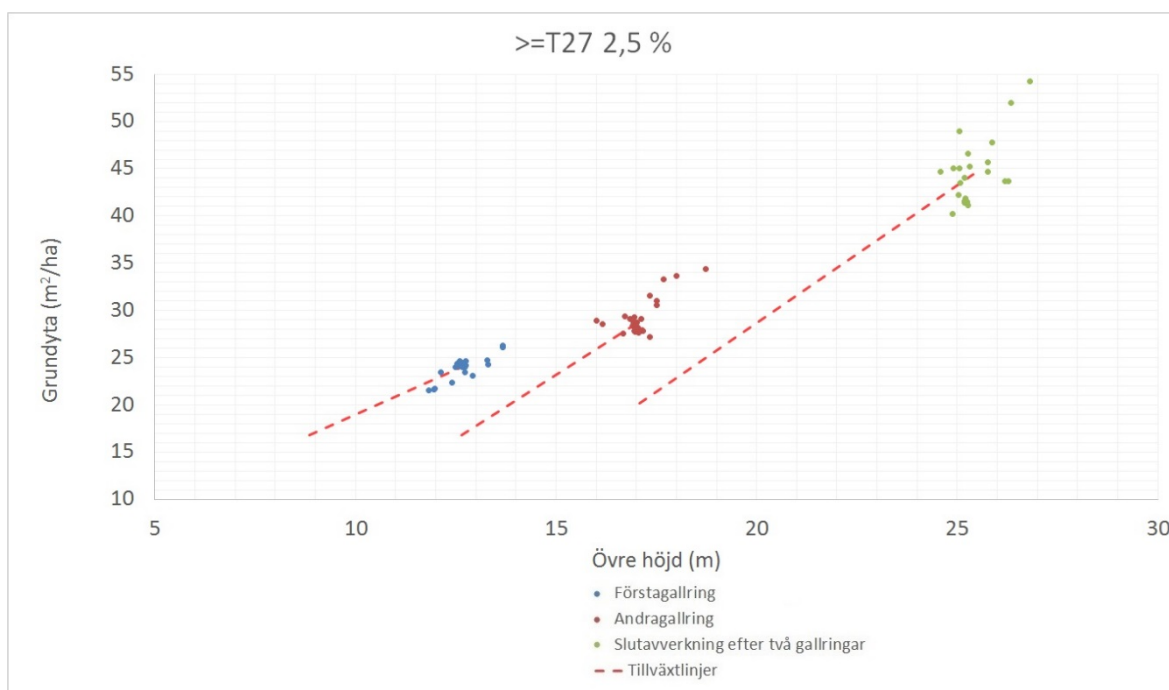
**Figur 21.** Gallringsmall T21-T22 2,5 %



**Figur 22.** Gallringsmall T23-T24 2,5 %



**Figur 23.** Gallringsmall T25-T26 2,5 %



**Figur 24.** Gallringsmall >= T27 2,5 %

### ***Bilaga 3. Funktioner för gallringsmodellerna***

Nedan redovisas variabeln  $y'$  för gallringsmodellerna. För en redogörelse för hela funktionsuttrycket se Material och Metod. De logistiska regressionerna av resultatet från NYA gav följande modeller.

#### Modell 1 för 1,5 % kalkylränta

Om tidigare gallringar = 0

$$y' = -18,97 + 1,544 * GY - 0,956 * Dgv + 3,854 * Hgv - 0,1289 * \text{ålder} \\ - 0,000791 * \text{stamantal} - 0,2064 * \text{volym} - 0,533 * SI$$

Om tidigare gallringar = 1

$$y' = -48,37 + 5,128 * GY - 0,558 * Dgv + 4,924 * Hgv - 0,2843 * \text{ålder} \\ - 0,002395 * \text{stamantal} - 0,5093 * \text{volym} - 1,331 * SI$$

Enheter: GY (grundyta) i m<sup>2</sup>/ha, Dgv (grundytavägd medeldiameter) i cm, Hgv (grundytavägd medelhöjd) i m, ålder i år, stamantal i stammar/ha, volym i m<sup>3</sup>sk/ha, SI (ståndortsindex H100) i m.

#### Modell 1 för 2,5 % kalkylränta

Om tidigare gallringar = 0

$$y' = -25,19 + 1,872 * GY - 0,6803 * Dgv + 3,444 * Hgv - 0,09614 * \text{ålder} \\ - 0,001229 * \text{stamantal} - 0,2407 * \text{volym} - 0,3654 * SI$$

Om tidigare gallringar = 1

$$y' = -28,00 + 5,055 * GY - 0,6655 * Dgv + 4,091 * Hgv - 0,3594 * \text{ålder} \\ - 0,003427 * \text{stamantal} - 0,437 * \text{volym} - 1,872 * SI$$

#### Modell 2 för 1,5 % kalkylränta

Om tidigare gallringar = 0

$$y' = 9,252 - 0,7533 * Dgv + 1,603 * Hgv - 0,1227 * \text{Ålder} - 0,5181 * SI$$

Om tidigare gallringar = 1

$$y' = 9,802 - 0,2566 * Dgv + 0,9469 * Hgv - 0,1604 * \text{Ålder} - 0,4648 * SI$$

#### Modell 2 för 2,5 % kalkylränta

Om tidigare gallringar = 0

$$y' = 5,747 - 0,3184 * Dgv + 0,8049 * Hgv - 0,09367 * \text{Ålder} - 0,2685 * SI$$

Om tidigare gallringar = 1

$$y' = 8,443 - 0,3786 * Dgv + 1,156 * Hgv - 0,1433 * \text{Ålder} - 0,4841 * SI$$